



TUGAS AKHIR - TF 145565

RANCANG BANGUN *VOLTAGE SOURCE* *INVERTER FULL-BRIDGE* SATU FASA 50 Hz

DENNY ALFANI
10 51 15 000 00 066

Dosen Pembimbing I
Dr.Ir. Purwadi Agus Darwito,M.Sc
NIP. 19620822 198803 1 001

Dosen Pembimbing II
Murry Raditya S.T,M.T.
NPP. 1988 2017 11055

PROGRAM STUDI DIII TEKNOLOGI INSTRUMENTASI
DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TF 145565

**RANCANG BANGUN *VOLTAGE SOURCE*
INVERTER FULL-BRIDGE SATU FASA 50 Hz**

DENNY ALFANI
10 51 15 000 00 066

Dosen Pembimbing I
Dr.Ir. Purwadi Agus Darwito,M.Sc
NIP. 19620822 198803 1 001

Dosen Pembimbing II
Murry Raditya S.T,M.T.
NPP. 1988 2017 11055

PROGRAM STUDI DIII TEKNOLOGI INSTRUMENTASI
DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



THESIS - TF 145565

DESIGN OF VOLTAGE SOURCE INVERTER FULL-BRIDGE SINGLE PHASE 50 Hz

DENNY ALFANI
10 51 15 000 00 066

Advisor Lecturer 1 :
Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc
NIP. 19620822 198803 1 001

Advisor Lecturer 2 :
Murry Raditya S.T,M.T.
NPP. 1988 2017 11055

DIII PROGRAM OF INSTRUMENTATION TECHNOLOGY
INSTRUMENTATION ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vocation
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN
RANCANG BANGUN VOLTAGE SOURCE INVERTER
FULL-BRIDGE SATU FASA 50Hz

TUGAS AKHIR

Oleh :

DENNY ALFANI
NRP. 105 115 00000 066

Surabaya, 27 Juli 2018
Mengetahui dan Menyetujui,

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc
NIP. 19628022 198803 1 001

Dosen Pembimbing II,



Murry Raditya, S.T, MT.
NPP. 1988 2017 11055

Kepala Departemen Teknik
Instrumentasi,



Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc
NIP. 19628022 198803 1 001

LEMBAR PERSETUJUAN

RANCANG BANGUN *VOLTAGE SOURCE INVERTER* *FULL-BRIDGE* SATU FASA 50 Hz

TUGAS AKHIR



Disusun untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Departemen Teknik Instrumentasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DENNY ALFANI

NRP 10 51 15 000 00 066

Disetujui Tim Penguji: Tanggal Ujian: 20 Juli 2018
Periode Wisuda: September 2018

1. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito M.Sc.  (Pembimbing I)
2. Murry Raditya, ST, MT (Pembimbing II)
3. Ir. Tutug Dhanardono, MT  (Penguji)

SURABAYA
JULI 2018

RANCANG BANGUN *VOLTAGE SOURCE INVERTER* *FULL-BRIDGE* SATU FASA 50 Hz

Nama : Denny Alfani
NRP : 10 51 15 000 00 066
Departemen : Teknik Instrumentasi FV-ITS
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito M.Sc
Dosen Pembimbing II : Murry Raditya, ST, MT

Abstrak

Salah satu elemen penting dalam proses konversi energi listrik yaitu inverter, dimana fungsinya mengkonversi tegangan dan arus searah menjadi tegangan dan arus bolak balik. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sebuah inverter satu fasa dengan gelombang keluarannya mendekati sinusoidal murni atau sinyal sinus terhadap beban resistif. Salah satu jenis inverter yaitu *voltage source inverter* (VSI) satu fasa yang dilengkapi dengan pengontrol tegangan dan frekuensi output sehingga aliran daya dapat dikontrol. Sistem tersebut diperoleh dengan memberikan sinyal *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) ke MOSFET pada inverter untuk metode pensaklaran *bipolar* dengan topologi *full bridge*. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan yaitu inverter hasil perancangan menghasilkan tegangan keluaran rms sebesar 221 Volt dengan tegangan masukan DC 320 Volt dan frekuensi sebesar 50 Hz.

Kata kunci : SPWM, inverter, tegangan, full bridge.

DESIGN OF VOLTAGE SOURCE INVERTER FULL-BRIDGE SINGLE PHASE 50 Hz

Nama : Denny Alfani
NRP : 10 51 15 000 00 066
Departemen : Teknik Instrumentasi FV-ITS
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito M.Sc
Dosen Pembimbing II : Murry Raditya, ST, MT

Abstract

One of the important elements in the process of converting electrical energy is the inverter, where its function converts the voltage and direct current into the voltage and alternating current. This study aims to produce a single phase inverter with its output wave approaching a pure sinusoidal or a sine signal to a resistive load. One type of inverter is a one-phase voltage source inverter (VSI) equipped with a voltage controller and an output frequency so that the power flow can be controlled. The system is obtained by providing a Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) signal to the MOSFET in the inverter for a bipolar switching method with a full bridge topology. Based on the test results obtained that the design of the inverter generates a rms output voltage of 221 Volt with a DC input voltage of 320 Volts and frequency of 50 Hz.

Keywords: *SPWM, inverter, voltage, full bridge.*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, dan kasih sayang-Nya serta shalawat dan salam atas junjungan Nabi Muhammad SAW atas selesainya Tugas Akhir dengan judul:

“RANCANG BANGUN *VOLTAGE SOURCE INVERTER* *FULL-BRIDGE* SATU FASA 50 Hz”

Sampai selesainya Tugas Akhir ini ada berbagai pihak yang telah membantu baik dukungan secara moril dan fisik, tidak lupa terima kasih penulis berikan pada:

1. Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga laporan ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya.
2. Kedua orang tua dan saudara saudara saya yang senantiasa memberikan dukungan dan doa.
3. Kakak saya, Fahrul Hakim yang senantiasa memberi pengertian dan semangat.
4. Adik saya, achsan dan ichsan N.N yang memberikan motivasi untuk pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito M.Sc selaku selaku Kepala Departemen dan Dosen Pembimbing I, atas segala bimbingannya, kerja sama, nasehat, dan bantuannya selama ini.
6. Murry Raditya, ST, MT. selaku Dosen Pembimbing II, atas segala bimbingannya, kerja sama, nasehat, dan bantuannya selama ini.
7. Bapak/Ibu dosen yang telah menjadi media transfer ilmu sehingga kami dapat merampungkan jenjang perkuliahan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

8. Seluruh staf pegawai Teknik Instrumentasi atas semua bentuk kerja samanya selama masa kuliah.
9. Nur Fadila Supi'i, Fitria Dayanti, Dimas Agung Pambudi, Adil Farazaki selaku kelompok Summing konversi energi yang selalu memberikan dukungan dan semangat serta motivasi.
10. Irfano Azmi, Muhammad Faiz, Mokhammad Hidayat atas saran, ilmu dan bantuan serta tenaga sehingga bisa terselesaikannya alat Tugas Akhir ini.
11. Seluruh sahabatku dari angkatan 2015 atas segala waktu, kebersamaan, diskusi, semangat dan bantuannya.
12. Seluruh teman-teman dan segala pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu terima kasih atas segala bantuannya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saran serta kritik yang membangun sangat diharapkan. Semoga laporan ini bermanfaat bagi pembacanya dan dapat menjadi referensi untuk pembacanya. Akhir kata penulis mohon maaf atas setiap kesalahan yang dilakukan selama pelaksanaan sampai penyusunan laporan ini.

Surabaya, 30 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Metodologi	3
1.6.1 Studi Literatur.....	4
1.6.2 Perencanaan Sistem dan Pengumpulan Data.....	4
1.6.3 Perancangan Perangkat Lunak	5
1.6.4 Pembuatan dan Pengukuran/Pengujian Perangkat Sistem	5
1.6.5 Integrasi dan Pengujian Sistem.....	5
1.6.6 Eksperimen dan Analisa Sistem.....	5
1.6.7 Konfigurasi Sistem	6
1.7 Sistematika Laporan	6
1.8 Relevansi	6
BAB II.....	9
DASAR TEORI	9
2.1 Inverter	9
2.1.1 Pengertian Inverter	9
2.1.2 <i>Voltage Source Inverter (VSI) dan Current Source Inverter (CSI)</i>	10
a. Voltage Source Inverter (VSI)	10
b. Current Source Inverter (CSI).....	11

2.1.3	<i>Single Phase Half Bridge dan Full Bridge VSI Inverter</i>	12
a.	Single Phase Half Bridge.....	12
2.2	PWM	18
2.2.1	Pengertian PWM.....	18
a.	Single Pulse Width Modulation	20
b.	Multiple Pulse Width Modulation	21
c.	Sinusoidal Pulse Width Modulation	22
2.2.2	Tipe Gelombang Pada Inverter	23
a.	Square Wave Inverter	23
b.	Modified Square Wave Inverter.....	23
c.	True Sine Wave Inverter.....	24
2.2.3	Sine Wave Generation	25
2.3	Mikrokontroller AVR ATMEGA128.....	27
2.4	Harmonisa	28
2.5	Rangkaian Filter	30
2.6	Komponen Pendukung Alat.....	33
2.6.1	MOSFET	33
2.6.2	NTC Thermistor	35
2.6.3	Induktor	36
2.6.4	Diode Zener	39
2.6.5	Snubber.....	41
BAB III	.....	45
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	.....	45
3.1	Flowchart Perancangan Alat.....	45
3.2	Perancangan Model Inverter Satu Fasa.....	46
3.3	Perencanaan dan pembuatan rangkaian driver MOSFET dengan kontroler.....	49
3.4	Perencanaan dan pembuatan rangkaian topologi H-bridge	55
3.5	Perencanaan dan pembuatan rangkaian sinyal pembangkit SPWM	59
3.6	Perencanaan dan pembuatan rangkaian filter.....	62
3.7	Perencanaan dan pembuatan rangkaian adjustable frequency setting	64

BAB IV	67
PENGUJIAN DAN ANALISA DATA	67
4.1 Pengujian.....	67
4.1.1 Rangkaian driver MOSFET dengan kontroler	69
4.1.2 Rangkaian topologi H-bridge dan Pembangkit SPWM 71	
4.1.3 Rangkaian filter	75
4.2 Analisa Data	77
BAB V	85
PENUTUP.....	85
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN A	90
LAMPIRAN B	96
LAMPIRAN C	98
LAMPIRAN D	103
LAMPIRAN E	107
LAMPIRAN F.....	109
LAMPIRAN G.....	110
LAMPIRAN H.....	123
BIODATA PENULIS	150

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Voltage-Source Inverter [5].....	11
Gambar 2. 2 Voltage-Source Inverter [5].....	11
Gambar 2. 3 Current-Source Inverter [5]	12
Gambar 2. 4 Current-Source Inverter [5]	12
Gambar 2. 5 Half Bridge Inverter [7].....	14
Gambar 2. 6 Rangkaian Inverter Full Bridge [5].....	15
Gambar 2. 7 Rangkaian Inverter Full Bridge [5].....	16
Gambar 2. 8 Sinyal PWM [10]	18
Gambar 2. 9 Bipolar Switching Scheme [11].....	19
Gambar 2. 10 Unipolar Switching Scheme [11]	19
Gambar 2. 11 Single Pulse Width Modulation [4]	20
Gambar 2. 12 Multiple Pulse Width Modulation [4].....	21
Gambar 2. 13 Sinusoidal Pulse Width Modulation [4].....	22
Gambar 2. 14 Square Wave Inverter Output [4]	23
Gambar 2. 15 Modified Square Wave Inverter Output [4]...24	
Gambar 2. 16 True Sine Wave Inverter [4]	24
Gambar 2. 17 SPWM comparison Signals [4]	25
Gambar 2. 18 Unfiltered SPWM output [4]	26
Gambar 2. 19 Filtered SPWM Output [4]	26
Gambar 2. 20 Overmodulation [4]	27
Gambar 2. 21 Rangkaian LCL	31
Gambar 2. 22 MOSFET dalam Kondisi (a) negative gate; (b) positive gate [16].....	34
Gambar 2. 23 NTC Thermistor	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 24 Garis gaya magnet pada induktor [21]..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 25 Induktor CS572060	38
Gambar 2. 26 Dioda zener	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 27 Trayek peralihan tanpa snubber, dengan snubber, dan metoda resonan [23]	43

Gambar 3. 1	Diagram Alir sistem secara keseluruhan	45
Gambar 3. 2	Diagram blok keseluruhan.....	46
Gambar 3. 3	Diagram blok inverter satu fasa.....	48
Gambar 3. 4	Rangkaian kontrol utama	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 5	kontroler utama dengan IR2110	50
Gambar 3. 6	Blog diagram kontroler SWPM Generator	51
Gambar 3. 7	Rangkaian implementasi (a) kontroler SPWM Generator pada EAGLE (b) Rangkaian implementasi kontroler SPWM Generator	52
Gambar 3. 8	Rangkaian gate drive inverter satu fasa	53
Gambar 3. 9	Rangkaian implementasi (a) pada EAGLE IR2110 (b) Rangkaian implementasi IR2110 hardware	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 10	Implementasi rangkaian H-bridge bipolar (a) pada EAGLE (b) pada hardware	56
Gambar 3. 11	Rangkaian PCB board H-bridge inverter satu fasa	57
Gambar 3. 12	Rangkaian implementasi H-bridge keseluruhan	58
Gambar 3. 13	Diagram blok SPWM [32]	60
Gambar 3. 14	Rangkaian SPWM pada kontroler	61
Gambar 3. 15	PWM output dari kontroler	62
Gambar 3. 16	Implementas pada EAGLE	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 17	Rangkaian Filter	64
Gambar 3. 19	Implementasi (a) rangkaian pada EAGLE (b) pada hardware	65
Gambar 3. 18	Rangkaian Frequensy adjustable	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 1	Rangkaian voltage source inverter	67
Gambar 4. 2	Proses pengujian voltage source inverter	68

Gambar 4. 3	Rangkaian kontrol SPWM generator.....	69
Gambar 4. 4	Gelombang PWM.....	70
Gambar 4. 5	Gelombang SPWM keluaran driver IR2110.....	71
Gambar 4. 6	Rangkaian pengujian H-bridge.....	72
Gambar 4. 7	Implementasi rangkaian H-bridge	73
Gambar 4. 8	Sinyal SPWM dengan indeks modulasi 0,68.....	74
Gambar 4.9	Rangkaian filter.....	75
Gambar 4.10	Gelombang keluaran setelah filter	76
Gambar 4.11	Gelombang keluaran tegangan dan arus	77
Gambar 4.12	Gelombang Tegangan Output Inverter	78
Gambar 4. 13	Gelombang keluaran tegangan tanpa beban	79
Gambar 4. 14	Gelombang keluaran tegangan tanpa beban satu periode.....	80
Gambar 4. 15	Gelombang keluaran tegangan dan arus	80
Gambar 4. 16	Gelombang keluaran tegangan dengan beban.....	81
Gambar 4. 17	Gelombang keluaran tegangan dengan beban.....	82
Gambar 4. 18	Gelombang arus	83
Gambar 4. 19	Gelombang arus satu periode	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Switching states Single Phase Half Bridge	13
Tabel 2. 2 Switching states Single Phase Full Bridge VSI Inverter	16
Tabel 2. 3 Batas Harmonik Tegangan Berdasarkan IEEE-519 [28]	30

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan energi termasuk listrik merupakan elemen yang sangat penting dalam berbagai aspek kehidupan manusia, sekaligus sebagai kebutuhan mutlak untuk menunjang pembangunan nasional yang berkelanjutan. Hal ini menjadi tantangan besar bagi Indonesia ketika dihadapkan pada kondisi dimana sebagian besar penyediaannya masih bergantung pada energi fosil dan pengembangan sumber-sumber energi terbarukan masih sangat terbatas. Di sisi lain, potensi energi terbarukan seperti biomasa, panas bumi, energi surya, energi air, dan energi angin cukup besar. Hanya saja sampai saat ini pemanfaatannya masih sangat terbatas. Hal ini antara lain disebabkan oleh harga energi terbarukan yang belum kompetitif bila dibandingkan dengan harga energi fosil yang masih disubsidi, penguasaan teknologi yang rendah sehingga nilai impornya tinggi, keterbatasan dana untuk penelitian, pengembangan, maupun investasi dalam pemanfaatan energi terbarukan serta infrastruktur yang kurang memadai. Sementara permintaan energi semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan pembangunan yang terus berkembang maka dibutuhkan teknologi yang dapat mengatasi masalah tersebut agar memaksimalkan penghematan biaya operasional yang semakin meningkat. Salah satu teknologi yang dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik mengingat listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting baik sebagai penerangan dirumah-rumah yaitu *inverter*.

Salah satu sistem elektronika yang kita kenal adalah intverter yang berfungsi mengubah tegangan DC Menjadi tegangan AC, salah satunya adalah DC 24V yang di boost menjadi 320 Vdc dan dirubah menjadi tegangan 220 AC 50 Hz dan gelombang keluarannya sinusoidal. Sebelumnya sudah pernah dilakukan penelitian mengenai inverter ntuk menaikkan dari 48VDC ke 220

VAC [1], penelitian yang lain juga mengungkapkan melalui perancangan *push-pull* 48VDC ke 220 VAC [2]. *Inverter* ini sangat berfungsi sebagai penyedia listrik cadangan untuk kebutuhan rumah tangga, sebagai emergency power saat aliran listrik rumah padam. Selain itu di masa mendatang, inverter DC to AC akan memegang peranan penting dalam mengubah energi DC dari sumber energi terbarukan seperti tenaga angin, sel surya, mini/mikro hidro menjadi energi listrik AC yang kita gunakan sehari-hari.

Pada *inverter* ini dibuat dengan menggunakan tiga sumber listrik berupa arus DC dari baterai yang diperoleh dari fotovoltaiik dan dari arus AC dari PLN serta genset dari turbin angin yang telah diubah menjadi tegangan DC terlebih dahulu. Kemudian kedua tegangan tersebut ditambahkan dengan rangkaian *summing amplifier*. Pada keluaran rangkaian *summing amplifier* tegangan yang dikeluarkan berupa tegangan 24VDC yang akan diubah dengan tegangan 220V AC dengan menaikkan tegangan tersebut melalui topologi *boost converter*. Oleh karena itu dibuat tugas akhir ini dengan judul **“RANCANG BANGUN VOLTAGE SOURCE INVERTER FULL-BRIDGE SATU FASA 50 Hz”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan diatas, maka rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana cara merancang sebuah perangkat *inverter full bridge* arus searah 320 VDC menjadi tegangan arus bolak-balik 220 VAC dengan hasil gelombang sinusoidal dan frekuensi tetap yang dihasilkan 50 Hz ?
2. Bagaimana merancang dan mengaplikasikan *inverter full bridge* yang akan dirancang guna mensuplai beban ?

1.3 Tujuan

Tujuan utama dari rancang bangun alat ini adalah untuk memenuhi mata kuliah tugas akhir sebagai syarat kelulusan dari Departemen Teknik Instrumentasi, yaitu :

1. Untuk merancang sebuah perangkat *inverter full bridge* arus searah 320 VDC menjadi tegangan arus bolak-balik 220 VAC dengan hasil gelombang sinusdal dan frekuensi tetap yang dihasilkan 50 Hz.
2. Memahami konsep perancangan dan aplikasi dari pembuatan *inverter full bridge* yang sumbernya berasal dari panel surya dan turbin angin sebagai sumber energi untuk pengisian *battery* serta *genset* yang disearahkan untuk diaplikasikan sebagai supply energi guna mensuplai beban 2200VA.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batas ruang lingkup dari penelitian tugas akhir ini yaitu :

1. Menggunakan *boost converter* untuk menaikkan tegangan sebagai inputan ke *inverter*.
2. *Inverter* yang dibuat menggunakan metode *switching bipolar SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation)* dengan tipe Inverter Sumber Tegangan (Voltage Source Inverter VSI).
3. Metode *sinusoidal pulse width modification* dan *filtering* sebagai meminimalisir *Harmonic*.
4. Inverter dalam penelitian tugas akhir ini hanya mengeluarkan frekuensi tetap sebesar 50 Hz.
5. Batasan dari proyek akhir dibatasi bahwa keluaran *inverter* ini hanya dapat menghasilkan tegangan keluaran konstan sebesar 220Vac. dan daya keluaran maksimumnya dibatasi sebesar 2200VA.

1.5 Manfaat

Manfaat yang didapatkan pada penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai pengkonversi daya listrik dari tegangan DC menjadi tegangan AC.

1.6 Metodologi

Untuk mencapai tujuan proyek akhir ini maka ditempuh langkah-langkah sebagai berikut:

1.6.1 Studi Literatur

Pada pembuatan proyek akhir ini, diawali dengan melakukan, studi literature. Studi literatur merupakan pengumpulan data-data serta dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam penyelesaian proyek akhir, diantaranya mikrokontroller, topologi, klasifikasi inverter ditinjau dari proses, pembebanan, pemodulasian, sinyal keluaran, tegangan AC yang dihasilkan, pengaturan gelombang, *driver*, *serial communication* pembangkit SPWM, *temperatre dan current feedback*. Penulis mempelajari mengenai berbagai skema voltage source inverter untuk sistem hybrid dari jurnal IEEE, *scientdirect*, *researchgate*, digilib ITS, digilib ITB, beberapa buku literatur dan proyek akhir tentang elektronika daya khususnya yang berhubungan dengan inverter.

1.6.2 Perencanaan Sistem dan Pengumpulan Data

Pada pembuatan proyek akhir ini menggunakan perancangan sistem meliputi :

1.6.2.1 Sistem keseluruhan

Adapun blok diagram secara keseluruhan sistem yang menjadi pemodelan dalam penelitian ini. Sumber DC didapatkan dari turbin angin dan panel surya, yang di simpan dalam baterai dengan kapasitas 24 volt 100 Ah yang terdiri dari 2 pasang baterai seri 12 volt 100 Ah. dan sumber lainnya dari genset yang sudah disearahkan.

Ketiga sumber adalah sebagai input *summing amplifier* yang akan di *boost* dengan maksimal outputan 320 Vdc dan di jadikan input inverter agar mampu menghasilkan tegangan keluaran sebesar 220 Vac.

1.6.2.2 Kontroller

Rangkaian kontroler disini mikrokontroller berfungsi untuk menyulut drive pada rangkaian *buck konverter*, *load control*, *inverter* serta mengontrol *charger controller*, *summping amplifier*.

Setelah dilakukan studi literatur dan perancangan sistem, maka penulis melakukan pengumpulan data tentang parameter-parameter dan spesifikasi pada sistem inverter seperti tegangan DC link, filter inverter, dan parameter untuk penyalaaan saklar inverter.

1.6.3 Perancangan Perangkat Lunak

Dalam proyek akhir ini desain perangkat lunak yang digunakan adalah mikrokontroller AT-Mega 128. Perancangan mikrokontroller ini digunakan sebagai control PWM dari *load control* dan *inverter* dengan memanfaatkan frekuensi switching yang sesuai dengan performance dari AT Mega 128. Mikrokontroller ini nantinya juga akan terhubung pada *serial communication* untuk memberikan perintah dan menerima data yang akan digunakan sebagai monitoring pada modul inverter ini.

1.6.4 Pembuatan dan Pengukuran/Pengujian Perangkat Sistem

Pada bagian ini akan dilakukan penentuan skema inverter untuk mengatur nilai daya keluaran yang akan disalurkan menuju beban. Setelah itu akan dilakukan perancangan skema untuk inverter. Dari hasil perancangan, dilakukan realisasi/pembuatan baik perangkat keras maupun perangkat lunak. Serta dilakukan pengukuran/pengujian kinerja masing-masing bagian (sub-sistem) dilakukan integrasi.

1.6.5 Integrasi dan Pengujian Sistem

Dari hasil perancangan, dilakukan realisasi/pembuatan baik perangkat keras maupun perangkat lunak. Dan diadakan pengukuran/pengujian masing-masing bagian (sub-sistem) dari perangkat-perangkat tersebut sebelum dilakukan integrasi. Untuk mengetahui semua sistem yang telah dirancang sesuai dengan hasil yang diharapkan, dilakukan integrasi terhadap masing-masing perangkat.

1.6.6 Eksperimen dan Analisa Sistem

Pada bagian ini setelah dilakukan beberapa pengujian dan perbaikan sistem, diperoleh sistem yang memiliki unjuk kerja yang diinginkan. Dengan demikian, modul praktikum elektronika daya ini dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang diinginkan. Jika masih terdapat kekurangan maka kekurangan tersebut akan dianalisa kembali. Sistem yang sudah sempurna tetap akan dilihat unjuk kerjanya, yang kemudian dari sistem tersebut akan dianalisa untuk

dijadikan sebuah buku Proyek Akhir.

1.6.7 Konfigurasi Sistem

Sistem terdiri dari panel surya, turbin angin, *charger control*, *summing amplifier*, rangkaian AC to DC dengan filter, rangkaian buck konverter, rangkaian boost konverter, rangkaian inverter, serta rangkaian sistem mikrokontroller dan trafo step up. Penggunaan mikrokontroler sebagai kontrol driver.

diharapkan dapat menghasilkan proses switching

1.7 Sistematika Laporan

Penyusunan laporan tugas akhir ini dilakukan secara sistematis dan tersusun dalam lima bab dengan setiap bab berisi penjelasan masing-masing sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika laporan pada pengerjaan *inverter* ini.

BAB II Dasar Teori

Bab ini membahas tentang dasar teori yang terkait *inverter*, SPWM, topologi, modulasi, dan MOSFET.

BAB III Perancangan Dan Pembuatan Alat

Bab ini menjelaskan mengenai perancangan dan pembuatan *inverter*.

BAB IV Pengujian dan Analisa

Bab ini berisi tentang hasil simulasi dan analisis inverter serta pembahasan data hasil pengujiannya terhadap variasi sifat beban dan filternya.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan pokok dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya

1.8 Relevansi

Hasil yang diharapkan dari proyek akhir ini adalah dapat dihasilkan modul inverter dengan daya sebesar 2200 VA yang

memiliki kinerja bagus, andal dan akurat sesuai dengan yang diharapkan. Serta dengan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat menjadi referensi untuk mendesain *voltage source inverter* pada sistem hybrid dan kontrolnya.
2. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan mengambil tugas akhir yang berhubungan inverte.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Inverter

2.1.1 Pengertian Inverter

Konverter DC ke AC dinamakan inverter. Fungsi sebuah inverter adalah mengubah tegangan input DC menjadi tegangan output AC. Tegangan outputnya bisa tertentu dan bisa pula diubah-ubah dengan frekuensi tertentu atau frekuensi yang diubah-ubah. Tegangan output variabel didapat dengan mengubah-ubah tegangan input DC dan agar gain inverter konstan. Disisi lain, apabila tegangan input DC adalah tertentu dan tidak bisa diubah-ubah, bisa didapatkan tegangan output yang variabel dengan mengubah-ubah gain dari inverter, yang biasanya dilakukan dengan kontrol *pulse width modulation* (PWM) didalam inverter. Gain inverter didefinisikan sebagai rasio tegangan output AC terhadap tegangan input DC.

Bentuk gelombang tegangan output inverter ideal adalah sinus. Tetapi kenyataannya bentuk gelombang tegangan output inverter tidaklah sinus dan mengandung harmonisa tertentu. Untuk penerapan dengan daya rendah dan menengah, gelombang kotak simetri ataupun tidak simetri bisa digunakan, sedangkan untuk penerapan dengan daya tinggi dibutuhkan untuk gelombang sinus dengan sedikit distorsi. Dengan kemampuan piranti semikonduktor daya kecepatan tinggi yang tersedia, kandungan harmonisa dalam bentuk gelombang output bisa dikurangi dengan teknik penyalaklaran (switching). [3]

Inverter DC-AC biasanya beroperasi menggunakan teknik PWM dan beralih antara topologi rangkaian yang berbeda, yang berarti bahwa inverter adalah nonlinier. PWM adalah teknik yang sangat tinggi dan berguna, dimana lebar pulsa dapat dikendalikan oleh berbagai mekanisme. PWM inverter digunakan untuk menjaga tegangan output pada tegangan pengenalan (tergantung pada pilihan

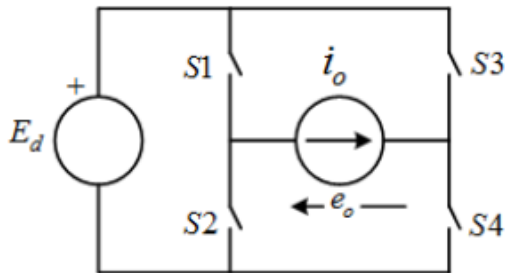
pengguna), terlepas dari beban keluaran. Pada inverter konvensional tegangan output berubah sesuai dengan perubahan beban. Untuk menghapus efek perubahan beban ini, inverter PWM memperbaiki tegangan output dengan mengubah output AC tergantung pada frekuensi *switching* dan lebar pulsa yang disesuaikan dengan nilai beban yang terhubung pada output sehingga memberikan nilai output konstan. Selain itu, strategi kontrol yang digunakan dalam inverter juga serupa dengan yang ada pada konverter DC-DC. Baik kontrol mode aktif dan kontrol mode tegangan digunakan dalam pengaplikasian praktis. Dalam dekade terakhir, studi perilaku kompleks dalam konverter daya beralih telah mendapatkan perhatian yang semakin meningkat baik dari akademisi maupun industri. [4]

2.1.2 Voltage Source Inverter (VSI) dan Current Source Inverter (CSI)

Dilihat dari tipe pembebanannya inverter dibedakan menjadi Inverter Sumber Tegangan (Voltage Source Inverter VSI) dan Inverter Sumber Arus (Current Source Inverter CSI) [3]:

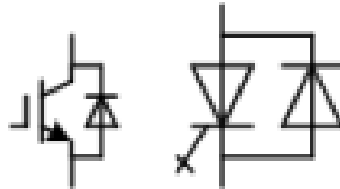
a. Voltage Source Inverter (VSI)

Jenis inverter dimana output AC yang dikontrol secara independen adalah bentuk gelombang tegangan serta tegangannya konstan dan arus tergantung pada beban. Sedangkan menurut media penyimpanan sementara, jenis *inverter* VSI menggunakan kapasitor sebagai media penyimpanan sementara untuk kemudian akan dihubungkan dengan rangkaian pensaklaran. Bentuk gelombang tegangan keluaran sebagian besar tetap tidak terpengaruh oleh beban. Inverter jenis VSI banyak diaplikasikan di industri, seperti *Adjustable Speed Drives* (ASD), dan juga dalam sistem power untuk *Flexible AC Transmission* (FACTS). [4]



Gambar 2. 1 Voltage-Source Inverter [5]

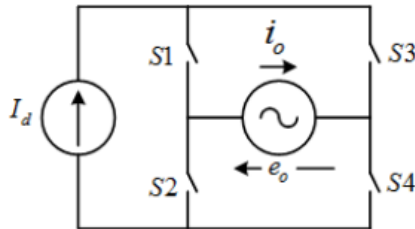
Tegangan di switch bersifat unidirectional dan arus bersifat bidirectional. Maka diperlukan saklar penghantar terbalik. [5]



Gambar 2. 2 Voltage-Source Inverter [5]

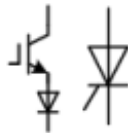
b. Current Source Inverter (CSI)

Jenis inverter ini dimana output AC yang dikontrol adalah dimana masukannya adalah sumber arus DC dengan arus konstan, tegangan bervariasi. Sedangkan menurut media penyimpanan sementara, inverter CSI menggunakan induktor sebagai link penghubung antara sumber dengan rangkaian pensaklaran. [6]



Gambar 2. 3 Current-Source Inverter [5]

Arus melalui *switch* bersifat *undirectional* dan tegangannya *bidirectional*. Maka diperlukan saklar pemblokiran terbalik. [5]



Gambar 2. 4 Current-Source Inverter [5]

Pada prakteknya inverter yang lebih sering digunakan adalah VSI sedangkan CSI penggunaannya terbatas pada kontrol motor AC dengan daya yang sangat besar. Tetapi karena hanya digunakan terbatas pada motor berdaya sangat tinggi, CSI tidak banyak didiskusikan.

2.1.3 Single Phase Half Bridge dan Full Bridge VSI Inverter

Ditinjau dari topologi dan prosesnya, inverter dibedakan menjadi :

a. Single Phase Half Bridge

Pada Gambar 2.1 ditunjukkan rangkaian *half bridge inverter*. Dua buah kapasitor yang mempunyai nilai sama disambung secara seri dan melintang dengan tegangan input DC dan sambungan potensial kapasitor yang berada di tengah-tengah dengan tegangan

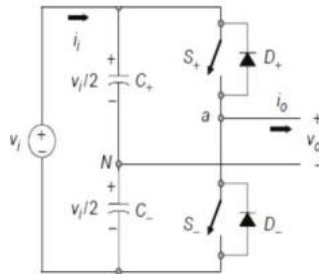
yang melintang pada setiap kapasitor. Dengan memperhatikan switch state arus yang berada diantara dua buah kapasitor, C+ dan C-, untuk menghasilkan titik N agar tegangan pada setiap kapasitor $V_i/2$ dapat dijaga konstan (yang mana nilai dan jenis sama besarnya) dibagi sama besar. Sakelar S+ dan S- merepresentasikan sakelar elektronis yang mencerminkan komponen semikonduktor daya. Sakelar S+ dan S- tidak boleh bekerja secara bersama-sama, karena akan terjadi hubung singkat rangkaian [7]. Ketika S+ ON, S+ atau D+ akan konduksi tergantung dari arah arus keluaran, dan arah arus i_o dibagi sama besar oleh dua buah kapasitor. Hampir sama seperti ketika S- ON, S- atau D- akan konduksi tergantung dari arah arus keluaran i_o dan arus i_o dibagi sama besar oleh dua buah kapasitor. Kapasitor C+ dan C- sangat efektif jika disambung secara paralel pada jalur yang dilalui oleh I_o , juga dapat menjelaskan kenapa sambungan “o” berada pada potensial tengah. [8]

Dalam kasus beban resistif, bentuk gelombang arus mengikuti bentuk gelombang tegangan tapi tidak dalam kasus beban reaktif, dengan itu D+ dan D- sebagai dioda umpan balik beroperasi untuk beban reaktif ketika tegangan dan arus dari polaritas berlawanan. [4]

Tabel 2. 1 Switching states Single Phase Half Bridge

S+	S-	V_o
ON	OFF	$+\frac{V_i}{2}$
OFF	ON	$-\frac{V_i}{2}$

Pada proses ON dan OFF bergantian untuk menghasilkan arus atau tegangan bolak-balik serta dalam perumusannya menghasilkan tegangan positif dan negatif seperti yang tertera pada tabel *switching state single phase half bridge*



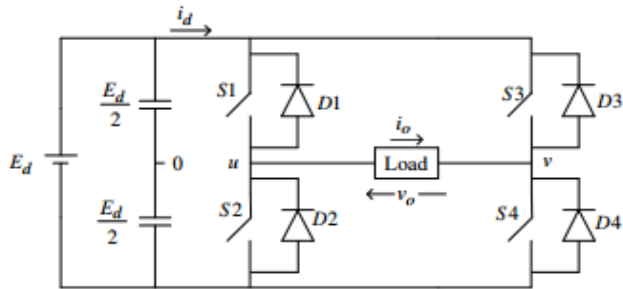
Gambar 2. 5 Half Bridge Inverter [7]

Ketika i_o mengalir terus ke paralel C_+ dan C_- , i_o akan steady state. Karena itu kapasitor ini bekerja seperti sumber dc membloking kapasitor, untuk menyelesaikan masalah saturasi pada trafo pada sisi primer, jika sebuah transformator digunakan pada keluaran inverter disediakan isolasi elektrik. Pada *half bridge inverter* tegangan puncak dan rating arus pada setiap switch adalah : $V_T = V_d$ dan $I_T = i_o$, puncak

Kondisi ON dan OFF dari sakelar S_+ dan S_- ditentukan dengan teknik modulasi, dalam hal ini menggunakan prinsip PWM. Prinsip PWM dalam rangkaian ini membandingkan antara sinyal modulasi V_c (dalam hal ini tegangan bolak-balik luaran yang diharapkan) dengan sinyal pembawa dengan bentuk gelombang gigi-gergaji (V_Δ). Secara praktis, jika $V_c > V_\Delta$ maka sakelar S_+ akan ON dan sakelar S_- akan OFF, dan jika $V_c < V_\Delta$ maka sakelar S_+ akan OFF dan sakelar S_- akan ON. [9]

b. Single Phase Full Bridge VSI Inverter

Full bridge inverter adalah rangkaian dasar untuk mengubah dari DC ke AC. Tegangan keluaran AC dapat dikendalikan dengan mengatur urutan penyalan dan pemadaman saklar dari masukan DC. Tegangan keluaran V_o dapat menjadi $+V_{dc}$, $-V_{dc}$ atau nol tergantung pada saklar yang ditutup.



Gambar 2. 6 Rangkaian Inverter Full Bridge [5]

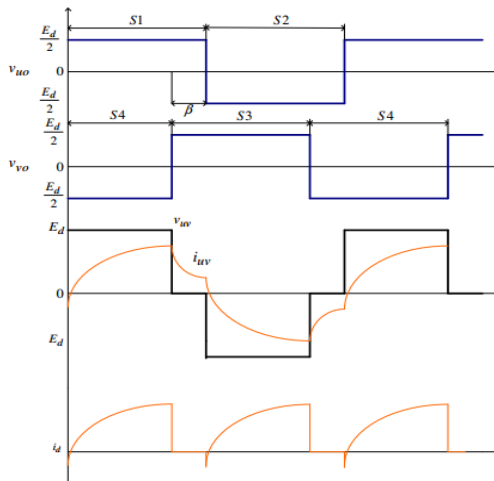
Untuk $S1$ dan $S4$ tidak diharuskan tertutup secara bersamaan, demikian juga $S2$ dan $S3$ karena akan berakibat hubung singkat pada sumber DC. Pada kenyataannya saklar yang sebenarnya tidak dapat dihidupkan dan dimatikan secara seketika. Oleh karenanya, waktu transisi pensaklaran harus diperhitungkan dalam pengendalian saklarnya. Setiap kali terjadi overlap pada saklar konduksi akan mengakibatkan hubung singkat pada rangkaian, kadang-kadang disebut juga dengan gangguan "shootthrough" pada tegangan sumber DC. [7]

Adapun prinsip kerja full bridge inverter adalah jika saklar $S1$ dan $S4$ dalam keadaan ON, maka arus akan mengalir ke beban dari arah kiri ke kanan, sehingga terbentuklah gelombang pada periode setengah gelombang yang pertama. Selanjutnya jika saklar $S3$ dan $S2$ dalam keadaan ON, maka arus akan mengalir ke beban dari arah kanan ke kiri dan terbentuklah gelombang pada setengah periode kedua. Kaki kaki jembatan ini dialihkan sedemikian rupa sehingga tegangan output bergeser dari satu ke yang lain dan karenanya perubahan dalam polaritas terjadi dalam bentuk gelombang

tegangan. Jika sudut shift nol, tegangan output juga nol dan maksimal ketika sudut geser adalah π . [4]

Tabel 2. 2 *Switching states Single Phase Full Bridge VSI Inverter*

Saklar ON	Saklar OFF	Tegangan keluaran (V_o)
S1 dan S4	S3 dan S2	+ V_o
S2 dan S3	S1 dan S4	- V_o
S1 dan S3	S2 dan S4	OFF
S2 dan S4	S1 dan S3	OFF



Gambar 2. 7 *Rangkaian Inverter Full Bridge [5]*

Dalam kasus beban resistif-induktif, arus beban terbalik mengalir melalui dioda dioda. Dioda menyediakan jalur alternatif ke arus induktif yang terus mengalir selama kondisi OFF.

Rangkaian *full bridge converter* untuk mendesain konverter yang baik diperlukan perhitungan nilai komponen-komponen yang tepat. Karena nilai komponen yang tidak tepat, dapat menyebabkan hasil output yang kurang baik, seperti keluarnya *ripple* tegangan dan arus yang terlalu besar.

$$V_o = \sqrt{2} \sum_{k=2n-1}^{\infty} V_k \sin(k\omega t) \dots\dots\dots (2.1)$$

$$V_k = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} E_d \int_{\beta/2}^{\pi/2} \sin(k\omega t) d(\omega t) = \frac{2\sqrt{2}}{k\pi} E_d \cos\left(\frac{k\beta}{2}\right) \dots\dots\dots (2.2)$$

$$V_1 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} E_d \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \dots\dots\dots (2.3)$$

$$V_3 = \frac{2\sqrt{2}}{3\pi} E_d \cos\left(\frac{3\beta}{2}\right) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$V_5 = \frac{2\sqrt{2}}{5\pi} E_d \cos\left(\frac{5\beta}{2}\right) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$V_7 = \frac{2\sqrt{2}}{7\pi} E_d \cos\left(\frac{7\beta}{2}\right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Sudut β bisa dipilih untuk mengatur besarnya komponen atau menghilangkan harmonisa tertentu.

$$i_d = s_1 i_u - s_2 i_u = (s_1 - s_2) i_u = s_{12} i_u \dots\dots\dots (2.7)$$

Asumsi arus keluaran sinusoidal :

$$i_u = \sqrt{2} I_l \sin(\omega t - \phi) \dots\dots\dots (2.8)$$

Switching function :

$$s_{12} = \sum_{k=2h-1}^{\infty} 4/k\pi \cos(k\beta/2) \sin(k\omega t) \dots\dots\dots (2.9)$$

Arus input :

$$i_d = (2\sqrt{2}/\pi) I_l \sum_{k=2h-1}^{\infty} \cos(k\beta/2)/k [\cos((k-1)\omega t + \phi) - \cos((k+1)\omega t - \phi)] \dots\dots\dots (2.10)$$

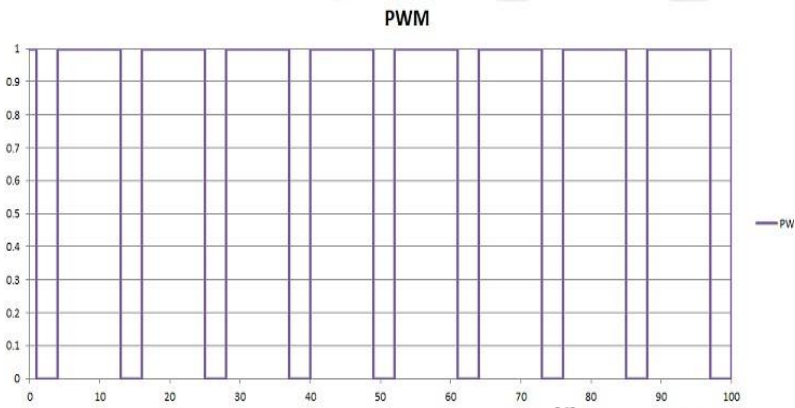
Arus sisi DC terdiri atas komponen DC dan komponen orde genap.

2.2 PWM

2.2.1 Pengertian PWM

Pulse Width Modulation (PWM) adalah teknik yang ditandai pembangkitan pulsa amplitudo konstan dengan memodulasi pemanipulasian lebar sinyal yang dinyatakan dengan *duty cycle* dalam suatu perioda, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. PWM banyak digunakan untuk aplikasi-aplikasi yang berkaitan dengan kontrol analog-digital atau sebaliknya. Sinyal referensi adalah output sinyal yang diinginkan mungkin sinusoidal atau gelombang persegi, sementara sinyal *carrier* atau sinyal gigi gergaji atau gelombang segitiga pada frekuensi yang secara signifikan lebih besar dari referensi.

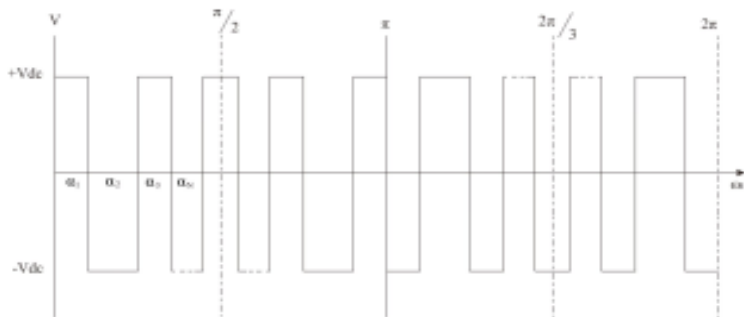
PWM dalam sistem pengukuran, dan lain sebagainya Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekwensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar Pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, Sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi (antara 0% hingga 100%) [10]



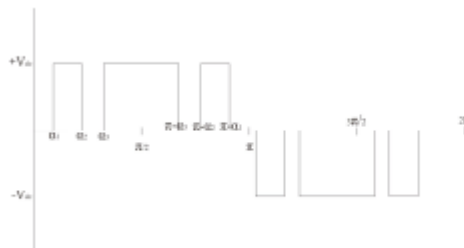
Gambar 2. 8 Sinyal PWM [10]

Inverter PWM satu fasa dapat diwujudkan dengan bipolar switching dan unipolar switching. Bipolar switching merupakan keadaan penyaklaran yang mengalami keadaan pulsa bertegangan positif dan negatif. Sedangkan unipolar switching dapat didefinisikan keadaan penyaklaran yang memiliki keadaan pulsa bertegangan positif, negatif, dan nol. Gambar 2.9 dan Gambar 2.10 merupakan Bipolar Switching Scheme dan Unipolar Switching Scheme. [11]

SPWM unipolar dan topologi pensaklaran full bridge inverter satu fasa digunakan dalam tugas akhir ini. SPWM unipolar dipilih karena SPWM bipolar mempunyai THD tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan THD tegangan SPWM unipolar [12]



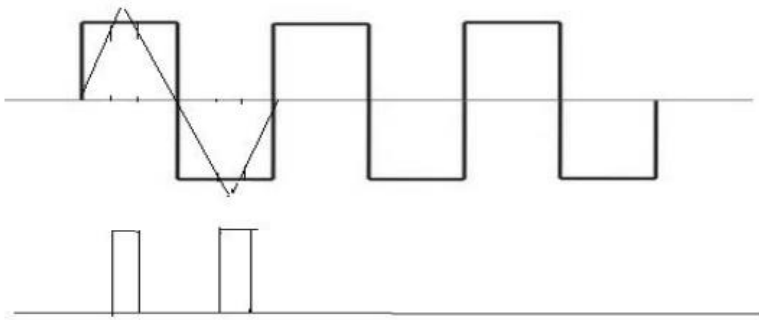
Gambar 2. 9 Bipolar Switching Scheme [11]



Gambar 2. 10 Unipolar Switching Scheme [11]

a. Single Pulse Width Modulation

Dalam modulasi ini hanya ada satu pulsa output persetengah siklus. Output diubah dengan memvariasikan lebar pulsa. Sinyal gating(sinyal dari *get drive*) dihasilkan dengan membandingkan referensi persegi panjang dengan referensi segitiga. Frekuensi dari kedua sinyal tersebut hampir sama.



Gambar 2. 11 Single Pulse Width Modulation [4]

Tegangan keluaran AC rms

$$V_o = V_s \sqrt{2t_{on}/T} = V_s \sqrt{2\delta} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana *duty cycle*

$$\delta = t_{on}/T \dots \dots \dots (2.12)$$

Indeks modulasi (MI)

$$MI = V_r/V_c \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana

V_r = *Reverence signal voltage*

V_c = *Carrier signal voltage*

Dengan memvariasikan amplitudo sinyal kontrol V_r dari 0 hingga V_c , lebar pulsa dapat dimodifikasi dari 0 detik ke $T/2$ detik dan tegangan output rms V_o dari 0 ke V_s

b. Multiple Pulse Width Modulation

Dalam modulasi ini ada beberapa jumlah keluaran pulsa per setengah siklus dan semua pulsa memiliki lebar yang sama. Sinyal gating dihasilkan dengan membandingkan referensi persegi panjang dengan referensi segitiga. Frekuensi sinyal referensi mengatur frekuensi output (f_o) dan frekuensi *carrier* (f_c). Jumlah pulsa per setengah siklus ditentukan oleh

$$p = f_c / 2f_o \dots\dots\dots(2.14)$$

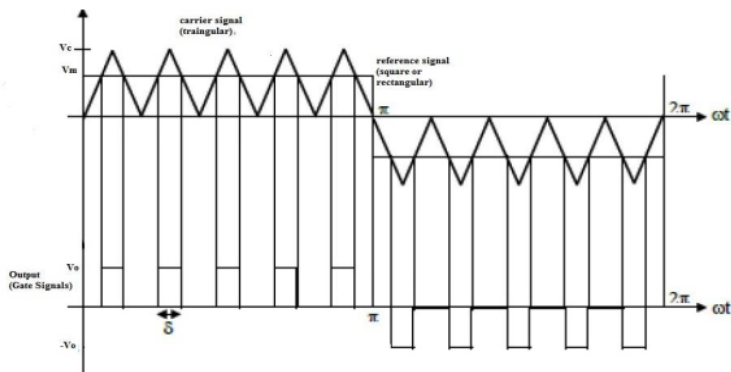
Tegangan keluaran AC rms

$$V_o = V_s \sqrt{\frac{p\delta}{\pi}} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana

$$\delta = t_{on} / T \dots\dots\dots(2.16)$$

Variasi indeks modulasi (MI) dari 0 hingga 1 bervariasi pulsa dari 0 hingga π/p dan output tegangan dari 0 ke V_s



Gambar 2. 12 Multiple Pulse Width Modulation [4]

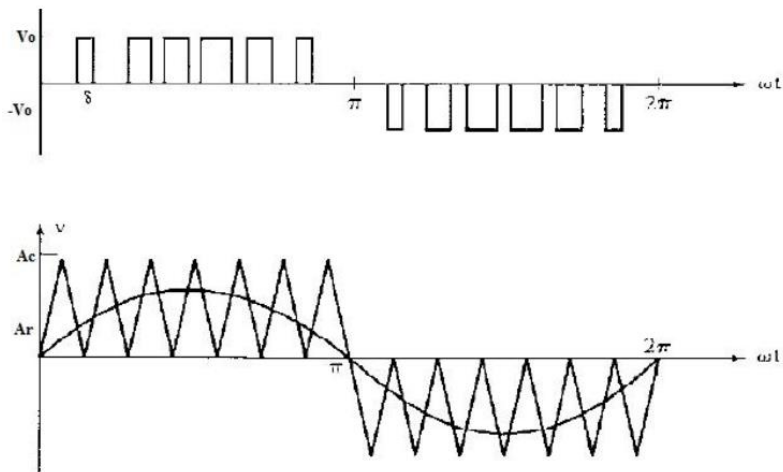
c. Sinusoidal Pulse Width Modulation

Dalam teknik modulasi ini ada banyak jumlah keluaran pulsa per setengah siklus dan pulsa memiliki lebar yang berbeda. Lebar setiap pulsa bervariasi proporsi ke amplitudo gelombang sinus dinilai di pusat pulsa yang sama. Sinyal dihasilkan dengan membandingkan referensi sinusoidal dengan sinyal segitiga frekuensi tinggi.

Regangan keluaran AC rms

$$V_o = V_s \sqrt{\frac{p\delta}{\pi}} \rightarrow V_s \sqrt{\sum_{m=1}^{2p} \frac{\delta_m}{\pi}} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana p = jumlah pulsa dan δ = lebar pulsa



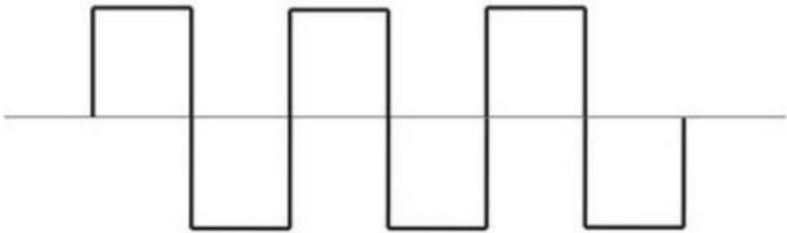
Gambar 2. 13 Sinusoidal Pulse Width Modulation [4]

2.2.2 Tipe Gelombang Pada Inverter

Terdapat tiga jenis gelombang pada inverter yang didefinisikan secara umum sebagai berikut :

a. Square Wave Inverter

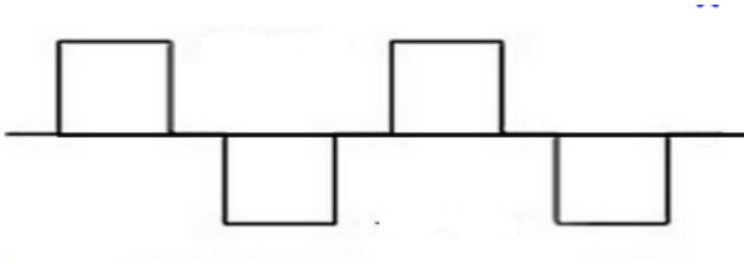
Ini adalah tipe dasar inverter. Outputnya adalah bujur sangkar gelombang. Kandungan harmonik dalam gelombang ini sangat besar. Inverter ini tidak efisien dan bisa memberi kerusakan serius pada beberapa peralatan elektronik. Tetapi karena biaya rendah, ia memiliki beberapa jumlah terbatas aplikasi dalam peralatan rumah tangga.



Gambar 2. 14 Square Wave Inverter Output [4]

b. Modified Square Wave Inverter

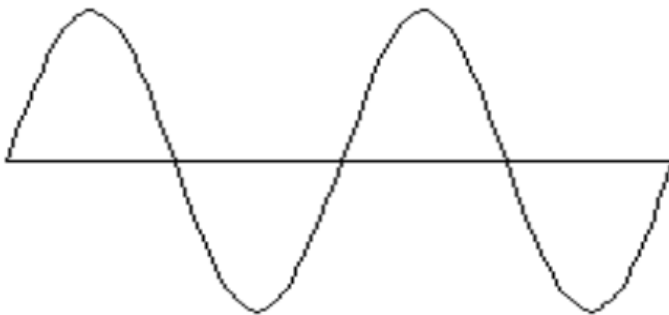
Sebuah gelombang sinus dari inverter yang dimodifikasi sebenarnya memiliki bentuk gelombang berlebih seperti gelombang persegi, tetapi dengan langkah tambahan. Karena gelombang sinus yang dimodifikasi lebih kasar daripada gelombang sinus murni, *clock* dan *timer* dapat berjalan lebih cepat atau tidak berfungsi sama sekali. Sebuah sinus yang dimodifikasi pada gelombang inverter akan bekerja dengan baik pada sebagian besar peralatan, meskipun beberapa efisiensi atau daya akan berkurang. Tetapi dengan sebagian besar peralatan rumah tangga itu bekerja dengan baik.



Gambar 2. 15 *Modified Square Wave Inverter Output [4]*

c. True Sine Wave Inverter

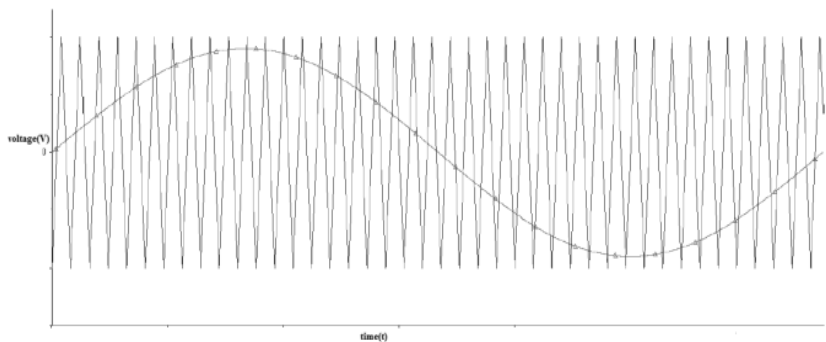
Jenis inverter ini menyediakan bentuk gelombang tegangan keluaran yang sangat mirip dengan gelombang tegangan yang diterima dari Grid. Gelombang sinus memiliki sangat sedikit distorsi harmonik menghasilkan pasokan yang sangat "bersih" dan membuatnya ideal untuk menjalankan peralatan elektronik sistem seperti komputer, rak fx digital, dan peralatan sensitif lainnya tanpa menimbulkan masalah atau suara. Hal-hal seperti pengisi daya baterai utama juga berjalan lebih baik pada konverter gelombang sinus murni.



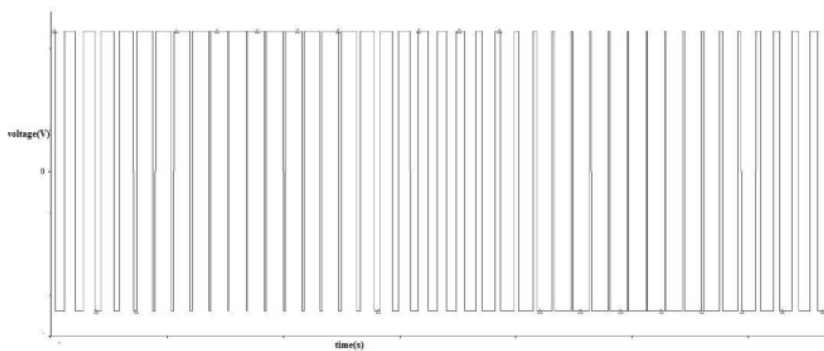
Gambar 2. 16 *True Sine Wave Inverter [4]*

2.2.3 Sine Wave Generation

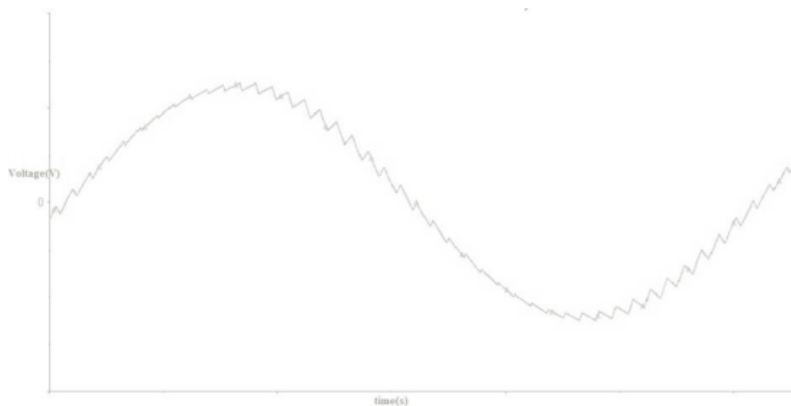
Teknik yang paling umum dan populer untuk menghasilkan True sine Wave adalah Pulse Width Modulation (PWM). Sinusoidal Pulse Width Modulation adalah teknik terbaik untuk ini. Teknik PWM ini melibatkan beberapa bentuk gelombang digital, yang siklus kerjanya dapat dimodulasi sedemikian rupa sehingga gelombang tegangan rata-rata sesuai dengan gelombang sinus murni. Cara paling sederhana menghasilkan sinyal SPWM adalah melalui membandingkan referensi gelombang sinus daya rendah dengan tinggi frekuensi gelombang segitiga. Sinyal SPWM ini dapat digunakan untuk mengontrol switch. Melalui filter LCL, output dari *Full Wave Bridge Inverter* dengan sinyal SPWM akan menghasilkan gelombang kira-kira sama dengan gelombang sinus. Teknik ini menghasilkan bentuk gelombang AC yang jauh lebih mirip daripada yang lain. Harmonik primer masih ada dan ada jumlah harmonik tingkat tinggi yang relatif tinggi di sinyalnya.



Gambar 2. 17 SPWM comparison Signals [4]

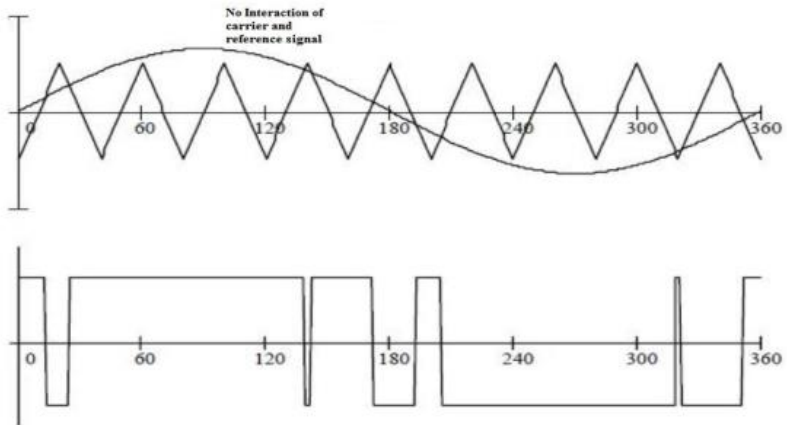


Gambar 2. 18 Unfiltered SPWM output [4]



Gambar 2. 19 Filtered SPWM Output [4]

Dimana sinyal modulasi adalah sinusoidal amplitudo A_m , dan amplitudo carrier segitiga adalah A_c , rasio $m = A_m / A_c$ dikenal sebagai Indeks Modulasi (MI).



Gambar 2. 20 Overmodulation [4]

Proses pembalikan sinyal bekerja jika untuk $m < 1$ dan untuk $m > 1$, ada periode gelombang segitiga yang tidak ada persimpangan carrier dan sinyal seperti yang ditunjukkan pada Gambar. Namun, pasti jumlah "overmodulation" ini sering diaplikasikan untuk mendapatkan tegangan AC yang besar meskipun kandungan spektral dari tegangan buruk.

2.3 Mikrokontroller AVR ATMEGA128

AVR merupakan seri mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur RISC (Reduced Instruction Set Computer). Hampir semua instruksi dieksekusi dalam satu siklus clock. AVR mempunyai 32 register general-purpose, timer/counter fleksibel dengan mode compare, interrupt internal dan eksternal, serial UART, programmable Watchdog Timer, dan mode power saving, ADC dan PWM internal. AVR juga mempunyai In-System Programmable Flash on-chip yang memungkinkan memori program untuk diprogram ulang dalam sistem menggunakan hubungan serial SPI. ATMEGA128.

AVR merupakan seri mikrokontroler *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS) 8-bit buatan Atmel berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Hampir semua instruksi pada program dieksekusi dalam satu siklus *clock*. AVR mempunyai 32 register *general-purpose*, *timer/counter* fleksibel dengan mode *compare*, interupsi *internal* dan *eksternal*, serial UART, *programmable Watchdog Timer*, *power saving mode*, ADC dan PWM. AVR pun mempunyai *In-System Programmable* (ISP) *Flash on-chip* yang memungkinkan memori program untuk diprogram ulang (*read/write*) dengan koneksi secara serial yang disebut *Serial Peripheral Interface* (SPI). AVR memiliki keunggulan dibandingkan dengan mikrokontroler lain, keunggulan mikrokontroler AVR yaitu memiliki kecepatan dalam mengeksekusi program yang lebih cepat, karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus *clock* (lebih cepat dibandingkan mikrokontroler keluarga MCS 51 yang memiliki arsitektur *Complex Instruction Set Compute*). ATMEGA128 mempunyai *throughput* mendekati 1 *Millions Instruction Per Second* (MIPS) per MHz, sehingga membuat konsumsi daya menjadi rendah terhadap kecepatan proses eksekusi perintah [13]

2.4 Harmonisa

Harmonisa dalam sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai suatu komponen sinusoida dari suatu perioda gelombang yang mempunyai satu frekuensi yang merupakan kelipatan bulat dari gelombang fundamental. Jika frekuensi fundamentalnya f_0 maka frekuensi harmonik orde ke n adalah $n \times f_0$. [14].

Harmonisa tegangan keluaran inverter dapat ditentukan bila persamaan matematik dari tegangan keluaran inverter telah ditentukan. Persamaan ini didapat dengan menguraikan bentuk gelombang tegangan dengan menggunakan deret Fourier [15]

Perbandingan nilai komponen harmonik dengan komponen fundamental biasanya dinyatakan dalam persen, indeks ini disebut

dengan THD (Total harmonic Distortion). THD biasanya digunakan untuk menyatakan penyimpangan bentuk gelombang yang mengandung harmonik terhadap gelombang sinusoidal murni dalam satu periode.

Sumber utama harmonisa adalah beban non linier. Beban - beban non linier adalah jenis beban yang memiliki bentuk gelombang yang keluarannya tidak sebanding dengan masukannya, artinya bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan bentuk gelombang masukannya. Beban non linier menyebabkan arus menjadi pulsa yang tidak beraturan dan tegangan menjadi terdistorsi sehingga menimbulkan arus harmonisa pada peralatan.

Untuk mengetahui karakteristik beban nonlinier satu fasa dapat diambil suatu pendekatan dengan menggunakan rangkaian penyearah satu fasa gelombang penuh yang dilengkapi dengan kapasitor perata tegangan DC. Adanya kapasitor C dimaksudkan untuk mendapatkan tegangan DC yang relatif murni yang dikehendaki untuk operasi komponen elektronik. Namun akibatnya arus pada jala-jala sistem Is hanya akan mengalir pada saat terjadi pengisian muatan kapasitor C, yaitu di daerah puncak gelombang tegangan jalajala, sehingga bentuk gelombang arus Is tidak proporsional lagi terhadap tegangannya (nonlinier) dan mengalami distorsi (nonsinusoidal).

Efek harmonisa yang timbul pada sistem tenaga listrik tergantung pada sumber harmonisa, letak sumber harmonisa, dan karakteristik jaringan listrik. Harmonisa menimbulkan pengaruh seperti: over voltage, interferensi sinyal, isolasi rnenjadi panas, menjadikan peralatan menjadi lebih panas [16].

Rekomendasi tingkat Total Harmonic Distorsion (THD) untuk arus dan tegangan dicantumkan pada IEEE-519 tahun 1992. Semua rekomendasi pada IEEE-519-1992 ditampilkan untuk level tegangan yang berbeda, diantaranya pada 69 kV dan di bawahnya, antara 69,001 sampai 161 kV dan di atas 161 kV [17].

Tabel 2. 3 Batas Harmonik Tegangan Berdasarkan IEEE-519 [28]

Tegangan di PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
- 69kV	3.0	5.0
69kV – 161kV	1.5	2.5
161kV	1.0	1.5

Mengenai distorsi harmonik arus, IEEE-519 mendefenisikan batas fungsi dari rasio antara arus hubung singkat (I_{sc}) pada PCC dengan arus fundamental rata-rata berdasarkan kebutuhan maksimum selama 12 bulan (IL). Rangkuman rekomendasi ini terdapat pada tabel

ISC adalah arus hubung singkat pada point of common coupling (PCC). Secara umum, kondisi sistem normal adalah hasil dari kapasitas minimum hubung singkat pada PCC. Sehingga perbandingan antara I_{sc}/I_L digunakan sebagai seberapa besar pengaruh arus saluran terhadap arus maksimum saat hubung singkat.

2.5 Rangkaian Filter

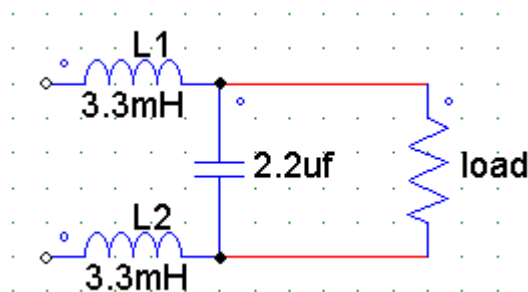
Filter adalah sebuah rangkaian penyeleksi frekuensi yang melewati frekuensi yang diinginkan dari masukan ke keluaran dan menahan atau mengeliminasi frekuensi yang tidak diinginkan. Tujuan utama dari filter harmonisa adalah untuk mengurangi amplitudo satu frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus. Dengan penambahan filter harmonisa pada suatu system tenaga listrik yang mengandung sumber-sumber harmonisa, maka penyebaran arus harmonisa keseluruhan jaringan dapat ditekan sekecil mungkin. Selain itu filter harmonisa pada frekuensi

fundamental dapat mengkompensasi daya reaktif dan dipergunakan untuk memperbaiki faktor daya sistem. Banyak sekali cara yang digunakan untuk memperbaiki sistem khususnya meredam harmonisa yang sudah dikembangkan saat ini. Secara garis besar ada beberapa cara untuk meredam harmonisa yang ditimbulkan oleh beban tidak linier yaitu [18]

- a. Penggunaan filter pasif pada tempat yang tepat, terutama pada daerah yang dekat dengan sumber pembangkit harmonisa sehingga arus harmonisa terjatuh di sumber dan mengurangi peyebaran arusnya.
- b. Penggunaan filter aktif.
- c. Kombinasi filter aktif dan pasif.
- d. Konverter dengan reaktor antar fasa, dan lain-lain.

Filter harmonisa dipasang secara paralel dengan peralatan yang merupakan beban nonlinier dan sumber harmonisa. Salah satu jenis filter yang dapat digunakan untuk meredam harmonisa adalah filter pasif. Filter pasif terdiri dari komponen seperti induktor, kapasitor dan resistor yang dirangkai dengan komponen harmonisa untuk meminimalkan arus harmonisa.

Filter LCL adalah filter pasif yang terdiri dari komponen-komponen pasif R, L dan C



Gambar 2. 21 Rangkaian LCL

Dari gambar tampak bahwa sebuah filter LCL terbuat dari induktor (L_1 dan L_2) pada sisi inverter, dan kapasitor C . Filter LCL dapat mereduksi harmonisa arus karena arus harmonisa akan mengalir pada reaktansi yang lebih rendah. Dengan pemasangan C , arus dengan frekuensi tinggi akan mengalir melalui kapasitor karena kapasitor memiliki impedansi yang rendah pada frekuensi tinggi. Agar tegangan beban bebas harmonisa, dipasang filter C yang paralel dengan beban. Dengan menggunakan filter C ini semua riak arus dengan frekuensi tinggi akan mengalir melewati kapasitor bukan ke beban. Filter L biasanya dipasang secara seri terhadap beban. Dengan menggunakan filter L , arus yang mengalir melalui L akan sulit berubah berbanding lurus dengan besarnya L .

Filter LCL bertujuan untuk mengurangi harmonisa orde tinggi pada sisi jaringan, tetapi desain filter yang buruk dapat menyebabkan redaman yang lebih rendah dibandingkan dengan apa yang diharapkan. Penyearah arus harmonisa dapat menyebabkan kejenuhan induktor atau resonansi filter. Oleh karena itu, induktor harus benar dirancang dengan mempertimbangkan arus ripple, dan filter harus teredam untuk menghindari resonansi. Namun, tingkat redaman dibatasi oleh biaya, nilai dari induktor, kerugian dari kinerja filter.

Rangkaian VSI ini juga terdapat *low pass filter* dimana merupakan kombinasi filter yang tersusun oleh komponen induktor dan kapasitor. *Low pass filter* atau tapis pelewat rendah digunakan untuk meneruskan sinyal berfrekuensi rendah dan meredam sinyal berfrekuensi tinggi. Filter ini sangat sederhana karena hanya terdiri dari komponen L , (induktor) dan C , (kapasitor) yang terhubung dengan R , (beban). Tegangan keluaran inverter yang berbentuk gelombang tegangan AC kotak-kotak dari hasil simulasi diubah oleh rangkaian filter kombinasi komponen induktor dan kapasitor. Rangkaian filter LC disini berfungsi sebagai penyaring inverter satu fasa jembatan penuh agar gelombang keluaran mendekati sinusoidal.

Rangkaian LC Filter berfungsi sebagai pem-filter harmonisa tegangan dan arus keluaran dari inverter. Rangkaian ini terdiri dari sebuah induktor 3,3 mH dan sebuah kapasitor non polaritas 2,2 mF yang tersusun secara paralel. Kemudian hasil keluaran filter ini, akan dihubungkan dengan sebuah beban resistif 1000Ω untuk bagian pengujian beban.

2.6 Komponen Pendukung Alat

Dalam pembuatan alat tugas akhir ini dibutuhkan komponen pendukung agar alat yang dibuat bisa berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Berikut dijelaskan komponen pendukung dalam pembuatan inverter sebagai berikut

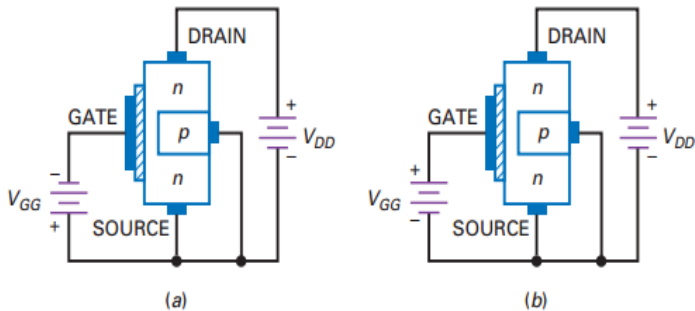
2.6.1 MOSFET

MOSFET atau Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor adalah perangkat semikonduktor tegangan terkontrol yang berfungsi untuk mengontrol aliran dari arus. Adapun power MOSFET atau MOSFET daya adalah MOSFET spesifik yang digunakan untuk menangani beberapa level daya tertentu. Perangkat ini memiliki kelebihan seperti kecepatan switching yang tinggi dan efisiensi yang bagus pada level tegangan rendah. MOSFET merupakan salah satu jenis transistor yang memiliki impedansi masukan (*gate*) sangat tinggi sehingga dengan menggunakan MOSFET sebagai saklar elektronik (metode *switching*), memungkinkan untuk menghubungkannya dengan semua jenis gerbang logika. Dengan menjadikan MOSFET sebagai saklar maka dapat digunakan untuk mengendalikan beban dengan arus yang lebih tinggi dan biaya yang relatif lebih murah daripada menggunakan *transistor bipolar* (BJT). Untuk membuat MOSFET sebagai saklar maka hanya menggunakan MOSFET pada kondisi saturasi (*ON*) dan kondisi *cut-off* (*OFF*). [19]

Karakteristik MOSFET pada daerah *cut-off* antara lain sebagai berikut :

- a. *Input gate* (V_{gs}) tidak mendapat tegangan bias karena terhubung ke *ground* (0V)

- b. Tegangan *input gate* (V_{gs}) lebih rendah dari tegangan *threshold* ($V_{gs} < V_{th}$)
- c. Tidak ada arus *drain* yang mengalir pada MOSFET
- d. Tegangan *output* $V_{out} = V_{ds} = V_{dd}$
- e. Pada daerah *cut-off* MOSFET dianalogikan seperti saklar yang terbuka.



Gambar 2. 22 MOSFET dalam Kondisi (a) *negative gate*; (b) *positive gate* [16]

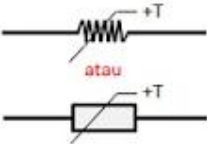
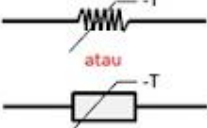


Pemilihan dari MOSFET perlu dilakukan mengingat setiap jenis MOSFET memiliki karakteristik yang berbedabeda. Dalam memilih MOSFET, ada beberapa parameter yang menjadi acuan, yaitu :

1. $R_{DS(on)}$ adalah resistansi antara drain dan source ketika MOSFET berada dalam posisi ON.
2. $I_{D(max)}$ adalah arus maksimum yang dapat dilalui kaki drain ke kaki source.
3. PD (Power Dissipation) adalah daya maksimum yang dapat didisipasikan oleh MOSFET.
4. EA (Avalanche Energy) adalah batasan MOSFET yang dapat menampung energi saat terjadi avalanche. Avalanche adalah kondisi dimana tegangan DrainSource maksimum dilewati.

5. Peak diode recovery (dv/dt) adalah parameter yang menyatakan seberapa cepat dioda instrinsik mampu berubah keadaannya dari off ke on sehingga waktu yang dibutuhkan adalah $t =$ tegangan balik/peak diode recovery.
6. $V(BR)DSS$ adalah menyatakan tegangan maksimum yang diperbolehkan antara kaki drain dan source ketika MOSFET dalam keadaan OFF.
7. $VGS(TH)$ adalah tegangan gate-source minimum yang menyebabkan MOSFET mulai ON. Untuk penggunaan MOSFET sebagai saklar, VGS butuh tegangan yang jauh lebih tinggi dari $VGS(TH)$.

2.6.2 NTC Thermistor

Thermistor adalah salah satu jenis Resistor yang nilai resistansi atau nilai hambatannya dipengaruhi oleh Suhu (Temperature). Thermistor merupakan singkatan dari “Thermal Resistor” yang artinya adalah Tahanan (Resistor) yang berkaitan dengan Panas (Thermal). Thermistor terdiri dari 2 jenis, yaitu Thermistor NTC (Negative Temperature Coefficient) dan Thermistor PTC (Positive Temperature Coefficient).

Simbol Thermistor	Bentuk Thermistor
<p>PTC</p>  <p>atau</p> <p>NTC</p>  <p>atau</p>	 <p>PTC</p>  <p>NTC</p>

Gambar 2. 23 NTC Thermistor

Pada umumnya Thermistor NTC dan Thermistor PTC adalah Komponen Elektronika yang berfungsi sebagai sensor pada rangkaian Elektronika yang berhubungan dengan Suhu (Temperature). Suhu operasional Thermistor berbeda-beda tergantung pada Produsen Thermistor itu sendiri, tetapi pada umumnya berkisar diantara -90°C sampai 130°C . Beberapa aplikasi Thermistor NTC dan PTC di kehidupan kita sehari-hari antara lain sebagai pendeteksi Kebakaran, Sensor suhu di Engine (Mesin) mobil, Sensor untuk memonitor suhu Battery Pack (Kamera, Handphone, Laptop) saat Charging, Sensor untuk memantau suhu Inkubator, Sensor suhu untuk Kulkas, sensor suhu pada Komputer dan lain sebagainya. Sensor suhu solid state benar-benar bertindak seperti resistor listrik yang sensitif terhadap suhu. Di mana kombinasi dari kata-kata termal dan resistor, berasal dari Netherer mengkhususkan diri dalam NTC, atau koefisien temperatur negatif, thermistor. [20]

2.6.3 Induktor

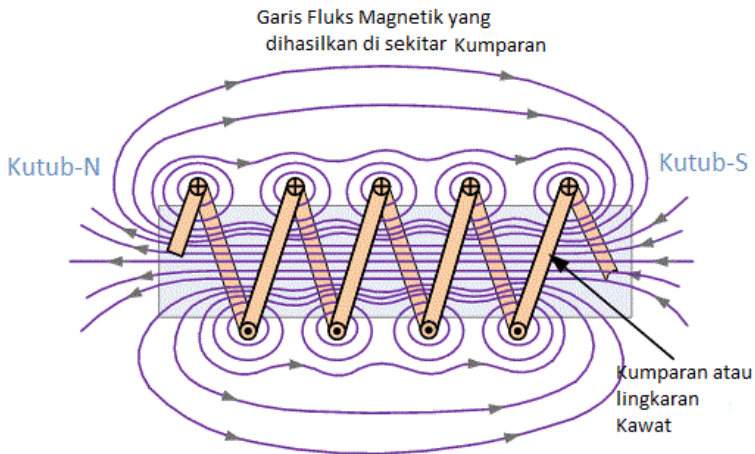
Ketika seutas kawat tembaga dialiri arus listrik maka disekeliling tembaga akan timbul medan listrik. Dengan aturan tangan kanan kita dapat mengetahui arah medan listrik terhadap arus listrik. Arah jempol adalah arah arus dan medan listrik yang mengitari ditunjukkan oleh arah ke empat jari yang menggenggam. Ketika kawat tembaga dililitkan membentuk suatu kumparan, kemudian dialiri arus listrik melalui kumparan tersebut maka tiap lilitan akan saling menginduksi. Inilah proses terjadinya medan listrik pada induktor.

Induktor adalah sebuah komponen elektronika yang menyimpan energi pada medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melewatinya. Kemampuan induktor untuk menyimpan energi magnet ditentukan oleh besar induktansinya. Pada umumnya, sebuah induktor adalah kawat penghantar yang dibentuk menjadi kumparan. Lilitan-lilitan tersebut membantu membuat medan magnet yang kuat di dalam kumparan. Induktor merupakan salah satu komponen elektronik dasar yang digunakan dalam

rangkaian dengan arus dan tegangan yang berubah-ubah. Apabila induktor pada rangkaian DC adalah menghasilkan tegangan DC yang konstan terhadap fluktuasi beban arus.

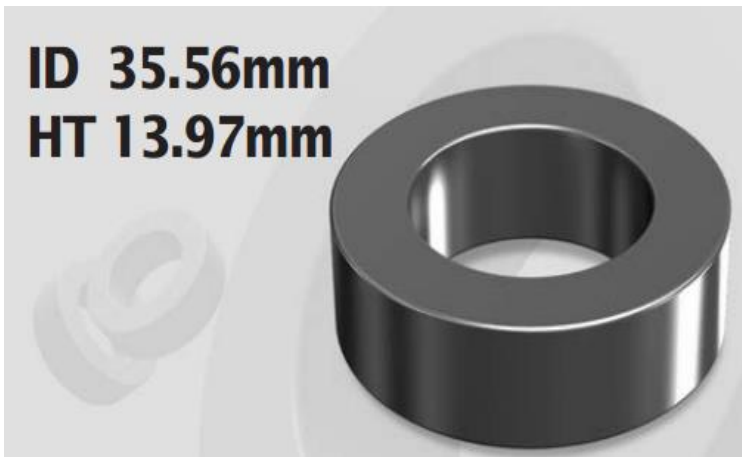
Pengertian induktor ideal, yaitu induktor yang memiliki induktansi, tetapi tanpa resistansi dan tidak memboroskan daya. Akan tetapi, pada kenyataannya sebuah induktor akan memiliki resistansi yang berasal dari kawat lilitan. Selain memboroskan daya pada resistansi kawat, induktor berinti magnet juga memboroskan daya di dalam inti karena efek histerisis, dan pada arus tinggi mungkin mengalami nonlinearitas karena mengalami penjenruhan.

Pada tegangan DC, garis-garis magnet akan terjadi pada saat arus listrik mengalir melalui kabel. Bila arus dialirkan pada *coil* (kumparan) yang dibuat dari kabel dan digulung, akan terjadi garis-garis gaya magnet, dan berbanding lurus dengan hasil kali dari jumlah gulungan dalam kumparan dan arus listrik yang melalui kumparan tersebut. [21]



Gambar 2. 24 Garis gaya magnet pada induktor [21]

Sebuah induktor biasanya dikonstruksi sebagai sebuah lilitan dari bahan penghantar. Biasanya kawat tembaga digulung pada inti magnet berupa udara atau bahan feromagnetik. Bahan feromagnetik mempunyai permeabilitas magnet yang lebih tinggi dari udara, dapat meningkatkan medan magnet dan menjaganya tetap dekat pada induktor. Penambahan inti feromagnetik juga akan meningkatkan induktansi induktor. Induktor yang bekerja pada frekuensi rendah dibuat dengan menggunakan baja laminasi. Untuk induktor yang bekerja pada frekuensi tinggi biasanya digunakan ferit sebagai bahan inti. Hal ini dikarenakan ferit tidak menyebabkan kerugian daya pada frekuensi tinggi seperti pada inti besi. Ferit mempunyai lengkung histeresis yang sempit dan resistivitasnya yang tinggi mencegah arus eddy. Induktor dibuat dengan berbagai bentuk. Sebagian besar dikonstruksi dengan menggulung kawat tembaga email disekitar bahan inti dengan kaki-kaki kawat keluar. Ferit yang digunakan pada tugas akhir ini adalah ferit dengan jenis CS572060, **LAMPIRAN F**.



Gambar 2. 25 Induktor CS572060

Beberapa jenis induktor memiliki gulungan kawat penuh di dalam material inti, dinamakan induktor terselubungi. Jenis induktor yang lain mempunyai inti yang dapat diubah letaknya, yang memungkinkan pengubahan induktansi. Induktor yang digunakan untuk menahan frekuensi sangat tinggi biasanya dibuat dengan melilitkan tabung atau manik-manik ferit pada kabel transmisi. Induktor kecil dapat dicetak langsung pada papan rangkaian cetak dengan membuat jalur tembaga berbentuk spiral. Beberapa induktor dapat dibentuk pada rangkaian terintegrasi menggunakan inti planar. Tetapi bentuknya yang kecil membatasi nilai induktansinya.

2.6.4 Diode Zener

Dioda merupakan komponen semikonduktor yang hanya dapat melewatkan arus / tegangan satu arah saja. Dioda zener merupakan salah satu komponen pelindung surja sekunder yang digunakan untuk menjepit tegangan surja secara akurat. Dioda zener mampu menyalurkan arus dalam suatu rangkaian ke arah yang berlawanan apabila terdapat tegangan yang melampaui batas tegangan zener [22].

Zener memiliki karakter yang unik karena bekerja pada Reverse Bias, berbeda dengan dioda biasa. Perbedaan lain antara zener dan dioda lainnya adalah doping yang lebih banyak pada sambungan P dan N. Ternyata dengan perlakuan ini tegangan breakdown dioda bisa makin cepat tercapai. Jika pada dioda biasa baru terjadi breakdown pada tegangan ratusan Volt, pada zener breakdown bisa terjadi pada angka puluhan dan satuan volt. Di datasheet ada zener yang memiliki tegangan sebesar 1,5 volt, 3,5 volt dan sebagainya. Zener memiliki rangkaian pengganti tersendiri yang terdiri dari dioda, resistor, dan sumber tegangan yang tersusun seri.

Struktur dioda zener tidaklah jauh berbeda dengan dioda biasa, hanya tingkat dopingnya saja yang sangat berbed. Kurva karakteristik dioda zener juga sama seperti dioda biasa, namun perlu dipertegas adanya daerah breakdown dimana pada saat bias mundur mencapai tegangan breakdown maka arus dioda naik dengan cepat. Daerah breakdown inilah titik fokus penerapan dari dioda zeener. Sedangkan pada dioda biasa tidak diperbolehkan pemberian tegangan mundur sampai pada daerah breakdown karena bisa merusak dioda.



Gambar 2. 26 Dioda zener

Titik breakdown dari suatu dioda zener dapat dikontrol dengan bervariasi tingkat dopingnya. Tingkat doping yang tinggi akan meningkatkan jumlah pengotoran sehingga tegangan zenernya akan kecil. Demikian juga sebaliknya, dengan tingkat doping yang rendah diperoleh yang tinggi. Pada umumnya dioda zener dipasaran tersedia mulai dari $= 1,8 \text{ V}$ sampai 200 V , dengan kemampuan daya dari $1 / 4$ hingga 50 W . Karena temperatur dan

kemampuan arusnya yang tinggi, maka jenis silikon sering dipakai pada dioda zener.

Penerapan dioda zener yang paling penting adalah sebagai penyetabil tegangan (voltage regulator). Rangkaian dasar penyetabil pada gambar dibawah. Agar rangkaian ini dapat berfungsi sebagai penyetabil tegangan, maka dioda zener harus bekerja pada daerah breakdown. Dengan kata lain, apabila dilihat pada gambar dibawah, maka tegangan sumber yang diberikan pada rangkaian harus lebih besar dari atau arus pada dioda zener harus lebih besar minimum. [22].

2.6.5 Snubber

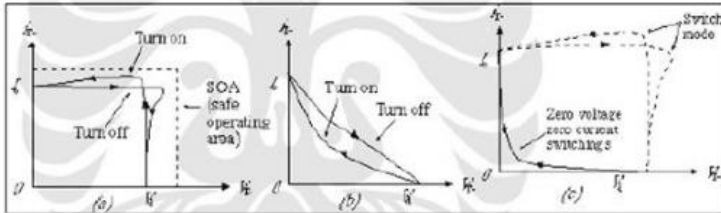
Dalam merancang rangkaian-rangkaian elektronika daya, salah satu faktor penting yang perlu diperhatikan adalah masalah kerugian daya yang terjadi pada sakelar elektronik yang digunakan. Kerugian daya pada sakelar elektronik itu sendiri terdiri dari dua bagian yaitu pada kondisi on dan pada kondisi peralihan. Pada waktu sakelar elektronik berkondisi on, kerugian daya terjadi karena adanya perosotan tegangan pada sakelar elektronik yang tengah menghantarkan arus, sehingga efek dari pengalihan $V \cdot I$ tidak dapat dihindarkan. Pada kondisi peralihan, kerugian daya yang terjadi pada sakelar elektronik umumnya dikenal dengan istilah kerugian pensakelaran. Kerugian pensakelaran terjadi karena alat pensakelaran tidak dapat mengalami transisi seketika atau selang waktu 0 detik dari satu status ke status lainnya. Misalnya, pada saat pensakelaran dari kondisi on ke kondisi off, arus yang terhenti pada sakelar elektronik akan terjadi dalam kurun waktu yang relatif cepat, tapi tidak seketika atau 0 detik.

Demikian pula halnya dengan penaikan tegangan pada proses pensakelaran yang sama. Fenomena serupa akan pula terjadi pada saat pensakelaran dari kondisi off kembali ke kondisi on. Dengan demikian dapatlah dibayangkan betapa seriusnya kerugian daya yang dapat terjadi akibat kerugian pensakelaran tersebut, apalagi dengan melihat cepatnya frekwensi pensakelaran yang umumnya digunakan pada rangkaian- rangkaian elektronika daya. Tidaklah

mengherankan pula jika pada rangkaian elektronika daya, kerugian daya dapat menjadi lebih besar pada kondisi peralihan dibandingkan dengan kerugian daya pada kondisi on. Kerugian pensakelaran dapat ditekan dengan cara mengimplementasikan topologi rangkaian pengubah resonan. Dalam metoda resonan ini, pensakelaran pada rangkaian pengubah memanfaatkan tegangan atau arus nol yang terjadi karena osilasi alami, sehingga kerugian daya akibat $V \cdot I$ idealnya menjadi nol pula.

Pada umumnya MOSFET berfungsi sebagai suatu switching (kontak on-off). Adapun kerja MOSFET yang berfungsi sebagai switching ini, selalu berada pada daerah jenuh (saturasi) dan daerah cut off. Dengan memanfaatkan karakteristiknya, pada kondisi saturasi (jenuh) dan keadaan cut-off (mati) maka MOSFET dapat dijadikan saklar dengan pemutus dan penyambungannya berupa (tegangan pada basisnya).

Alternatif lain untuk mengurangi kerugian pensakelaran adalah dengan menambahkan rangkaian snubber pada sakelar elektronik. Pada dasarnya, rangkaian snubber dirancang untuk memodifikasi bentuk gelombang peralihan sehingga kerugian daya pun dapat dikurangi. Dengan kata lain, rangkaian snubber dapat menekan kondisi kilasan yang tidak diinginkan. Tanpa penekanan tersebut, tegangan pada saat kondisi kilasan dapat melebihi tegangan sakelar elektronik yang ditarifkan sehingga kerusakan pada sakelar elektronik pun akan sulit dihindari. Manfaat lain dari rangkaian snubber adalah untuk melindungi sakelar elektronik yang harganya relatif lebih mahal dibandingkan dengan harga komponen-komponen yang ada pada rangkaian snubber tersebut. Caranya adalah dengan mematikan guncangan atau osilasi yang berasal dari induktansi dan kapasitansi yang bersifat parasit pada rangkaian sakelar. Hal ini sangat penting karena osilasi akan membawa dampak yang negatif seperti terjadinya interferensi elektromagnet. Pada gambar dibawah dapat dilihat perbedaan antara trayek peralihan dari sakelar elektronik pada pengubah h-bridge tanpa snubber, dengan snubber, dan dengan menerapkan metoda resonan.



Gambar 2. 27 Trayek peralihan tanpa snubber, dengan snubber, dan metoda resonan [23/

Kinerja snubber pada dasarnya adalah dengan cara memindahkan energi yang seharusnya diserap oleh sakelar elektronik ke rangkaian snubber. Pada umumnya ada dua jenis rangkaian snubber, yaitu rangkaian snubber disipasi dan rangkaian snubber non-dissipasi atau juga yang dikenal dengan istilah rangkaian snubber pemulihan energi. [23]

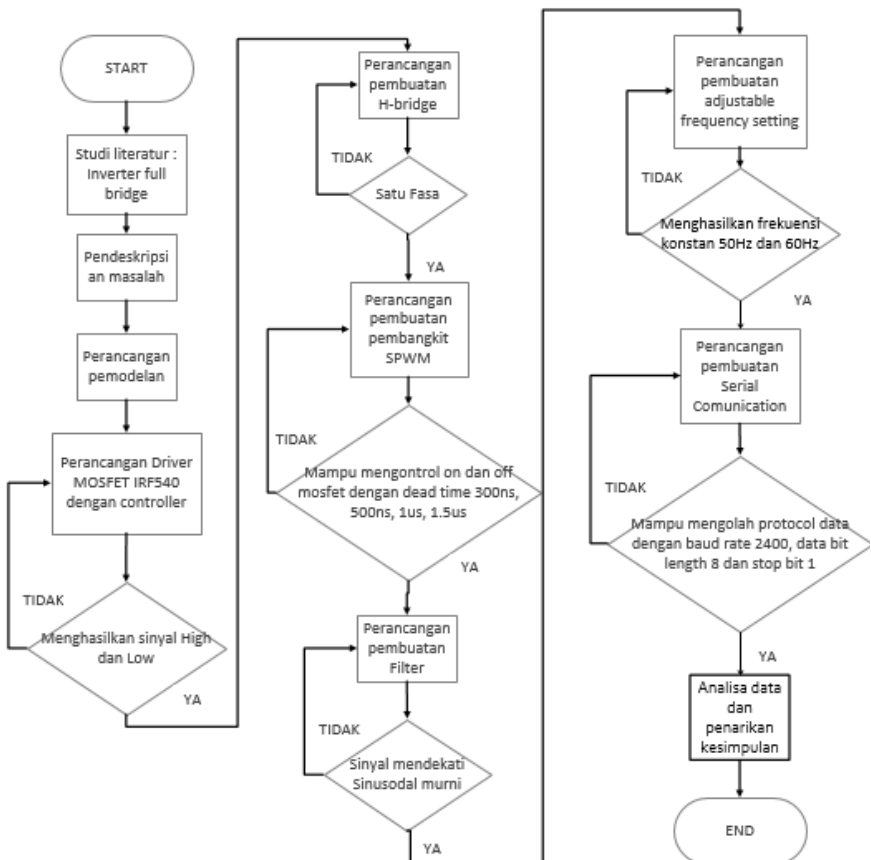
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Flowchart Perancangan Alat

Berikut adalah *flowchart* penelitian dalam pembuatan tugas akhir ini :



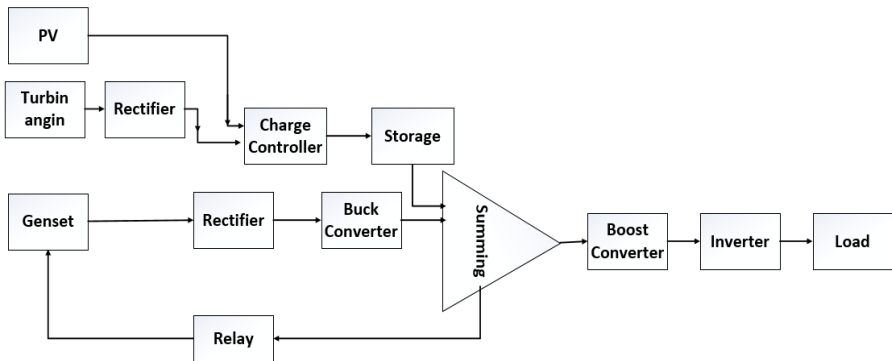
Gambar 3. 1 Diagram Alir sistem secara keseluruhan

Berdasarkan Gambar 3.1. perencanaan dan pembuatan perangkat keras pada tugas akhir ini meliputi:

1. Perancangan model inverter satu fasa.
2. Perencanaan dan pembuatan rangkaian *driver* MOSFET dengan kontroler.
3. Perencanaan dan pembuatan rangkaian topologi *H-bridge*.
4. Perencanaan dan pembuatan rangkaian sinyal pembangkit SPWM.
5. Perencanaan dan pembuatan rangkaian *filter*.
6. Perencanaan dan pembuatan rangkaian *adjustable frequency setting*.
7. Perencanaan dan pembuatan rangkaian *serial communication*.

3.2 Perancangan Model Inverter Satu Fasa

Pemodelan sistem untuk Tugas Akhir ini adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2. Pemodelan sistem ini hanya menunjukkan blok diagram keseluruhan yang berupa subsistem yang didalamnya terdapat rangkaian yang lebih kompleks lagi. Tujuan pemodelan sistem ini adalah untuk mempermudah pembaca dalam melihat sistem secara keseluruhan.



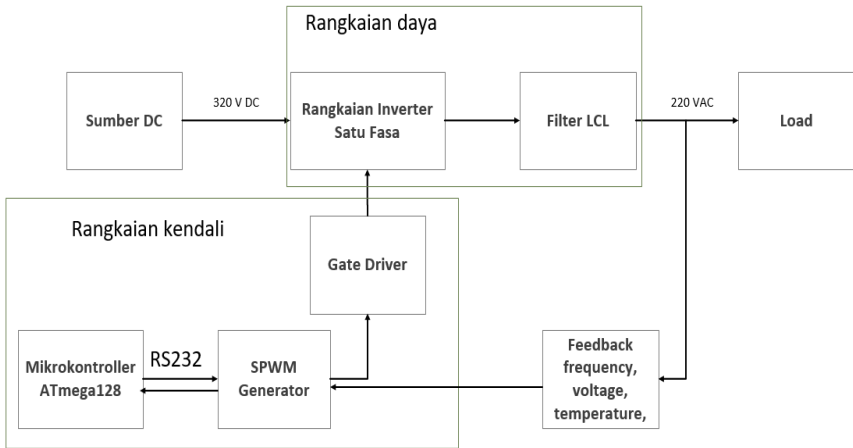
Gambar 3. 2 Diagram blok keseluruhan

Rangkaian utama dalam perancangan ini yaitu rangkaian inverter satu fasa. Inverter satu fasa merupakan suatu piranti yang mampu mengkonversi tegangan dan arus searah menjadi tegangan dan arus bolak-balik. Sinyal keluaran yang dihasilkan merupakan sinyal tegangan dan arus satu fasa. Pada perancangan ini untuk proses switching MOSFET digunakan metode SPWM dimana metode ini memanfaatkan pengaturan lebar pulsa dengan mengatur nilai indeks modulasi dan jumlah pulsa untuk tiap periode waktu. Keuntungan metode SPWM adalah pengaturan pulsa dapat disesuaikan dengan menentukan frekuensi masing masing sinyal masukan, baik sinyal referensi maupun sinyal carier.

Pada penelitian ini perancangan model pengujian terdapat 3 tahap. Pertama merancang pemodelan gambar rangkaian pada software EAGLE serta membuatnya pada gambar layout. Kedua menentukan komponen yang akan dibutuhkan untuk membuat alat ini, penentuan komponen sangat berpengaruh besar dalam pembuatan alat ini, dimana setiap nilai pada komponen tersebut dapat mempengaruhi berhasil atau tidaknya sebuah alat yang akan dibuat. Terakhir adalah mencetaknya dalam papan PCB yang telah tergambar. Kemudian dilanjutkan ke perancangan driver MOSFET, topologi jembatan , filter, pembangkit sinyal SPWM, *serial communication*, dan *adjustable frequency setting*.

Setelah dilakukan perancangan terhadap seluruh komponen yang terdapat dalam sistem, maka dilakukan integrasi keseluruhan komponen yang telah dirancang. Kemudian dilakukan pengujian keseluruhan system dengan menggunakan software simulasi PSim, CVAVR. Dari pengujian tersebut kemudian akan dianalisis sinyal SPWM yang dihasilkan, sinyal tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan, serta nilai harmonisa yang timbul dalam sinyal keluaran baik sinyal arus maupun tegangan. Dari analisis kemudian akan dilakukan perhitungan sehingga akan didapat hasil persentase

harmonisa yang dihasilkan oleh rangkaian inverter satu fasa dengan kontrol SPWM

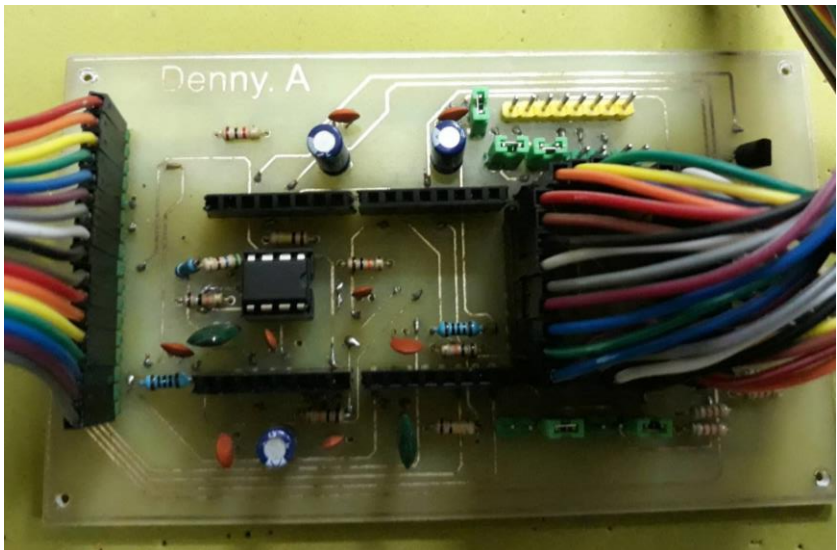


Gambar 3. 3 Diagram blok inverter satu fasa

Dari Gambar 3.3 dapat dijelaskan bahwa terdapat blok input, rangkaian kendali, rangkaian daya dan output. Di dalam rangkaian daya ada dua bagian yang akan berfungsi sebagai aktuator serta filter. Rangkaian inverter satu fasa terdapat 4 buah MOSFET yang akan dikendalikan oleh *gate drive* dari blok rangkaian kendali yang mendapat input sinyal dari kontrol SPWM generator. Kontrol SPWM generator akan dikendalikan oleh mikrokontroler melalui serial komunikasi untuk memberikan perintah berupa *read or write* serta pada bagian SPWM generator akan mendapatkan feedback dalam berupa *adjustable frequency, temperature, current* dan *voltage*. Feedback tegangan sendiri untuk menyesuaikan tegangan keluaran agar mencapai 220 Vac, serta mampu menghasilkan frekuensi sebesar 50 Hz.

3.3 Perencanaan dan pembuatan rangkaian driver MOSFET dengan kontroler.

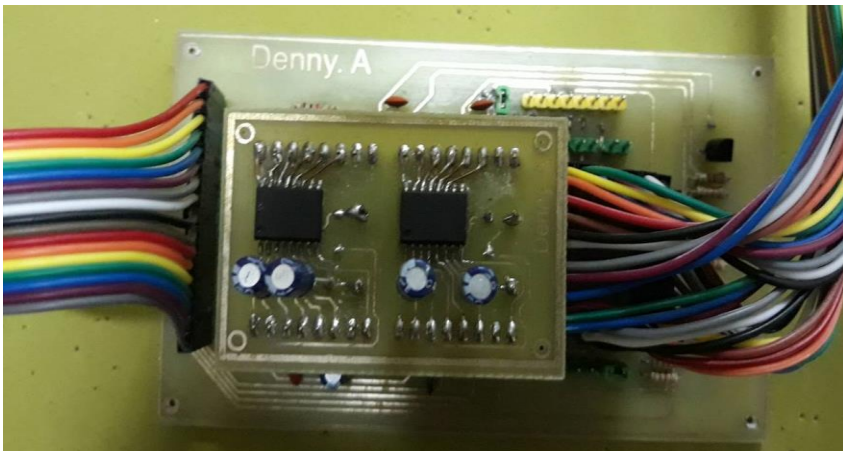
Inverter satu fasa merupakan suatu piranti elektronika yang berfungsi untuk mengkonversi tegangan dan arus searah menjadi tegangan dan arus bolak balik satu fasa. Pada perancangan ini digunakan inverter satu fasa tipe *H-bridge* dimana dalam suatu rangkaian inverter terdapat empat buah saklar MOSFET yang dipasang sejajar. Setiap saklar MOSFET memiliki dioda yang terhubung secara paralel satu sama lain tetapi dalam arah yang berlawanan. Dalam perancangan ini MOSFET dikendalikan oleh driver, dimana setiap driver berjenis IR2110S yang mengendalikan dua buah saklar MOSFET dengan kerja berlawanan satu sama lain. Masing masing driver mendapatkan kontrol chip yang mengintegrasikan *feedback* tegangan, suhu, arus serta kontrol kipas.



Gambar 3. 4 Rangkaian kontrol utama

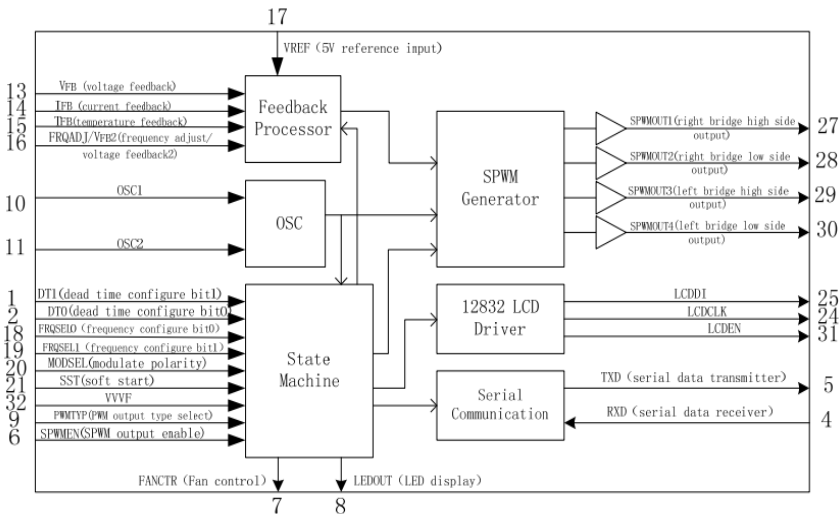
Rangkaian kontrol utama terlihat pada Gambar 3.4, terdapat bagian blok kontroler, blok *gate driver* dengan *pin header female*. Rangkaian kontrol utama terdiri dari

- a. kapasitor bervariasi dengan dominan berkapasitas 0.1 mF, 10 mF, 1000p, 22p, 2.2 uF polar dan non-polar.
- b. Resistor 5,1 ohm, 10k, 4,7 ohm, 1,5k, 100k, 0.1 ohm.
- c. NTC 10k
- d. Fan 12 Volt
- e. Induktor 3,3 mH
- f. Terminal 20 A
- g. Pinheader LCD warna kuning.
- h. Pinheader jumper
- i. Header male jumper operate
- j. Lm393 Terlampir pada **LAMPIRAN A.**
- k. Transistor 2SA1015 terlampir pada **LAMPIRAN B.**



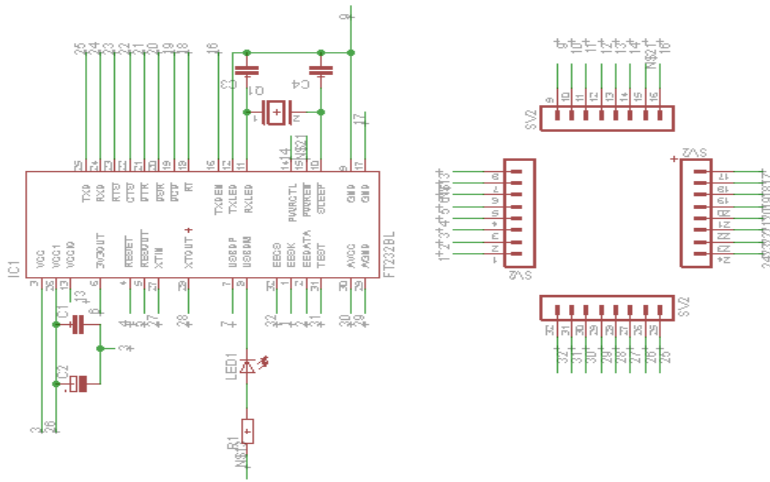
Gambar 3. 5 kontroler utama dengan IR2110

Gambar 3.5 menunjukkan pemasangan kontroller utama dengan IR2110 yang diintegrasikan secara keseluruhan. SPWM generator terletak pada jumper disebelah kanan.



Gambar 3. 6 Blog diagram kontroler SWPM Generator

Dalam diagram blok Gambar 3.4 dapat dijelaskan bahwa kontroler mendapat input *feedback* dan akan diproses oleh *state machine* yang selanjutnya akan menyetabilkan SPWM keluaran ke masing masing gate MOSFET untuk melebarkan atau mengecilkan pulsa yang nantinya berpengaruh pada hasil SPWMOUT pada masing-masing pin. Pengaturan juga bisa dilakukan pada *serial communication* melalui RS232 dengan mikrokontroler sebagai kontrol utama dalam proses *serial communication*. Mikrokontroler juga digunakan perintah menampilkan tegangan, frekuensi, suhu inverter dan informasi terkini kepada pengguna melalui display yang mendukung 12832 modul LCD.



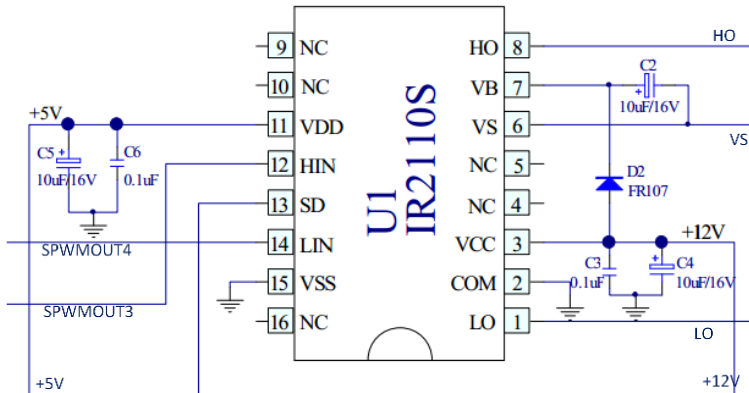
(a)



(b)

Gambar 3. 7 Rangkaian implementasi (a) kontroler SPWM Generator pada EAGLE (b) Rangkaian implementasi kontroler SPWM Generator

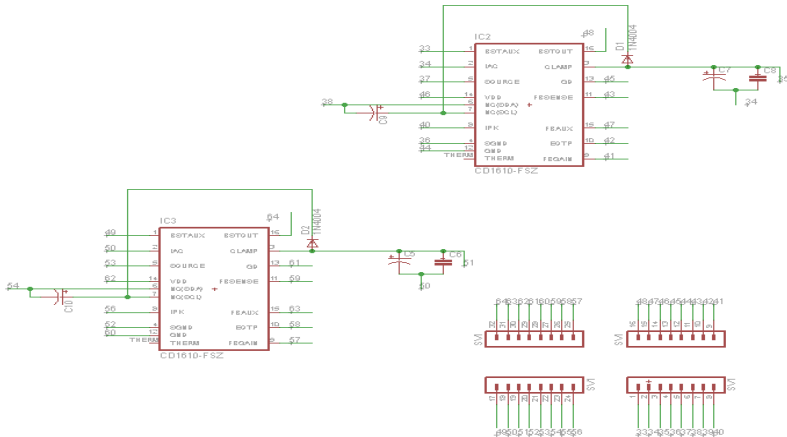
Implementasi rangkaian kontroler dapat dilihat pada Gambar 3.5 a implementasi pada software EAGLE dan 3.5 b pada hardware, terdiri dari kristal 12000 Hz, kapasitor polar dan non-polar, LED dan resistor terletak pada bagian atas sedangkan kontroler terletak pada bagian bawah.



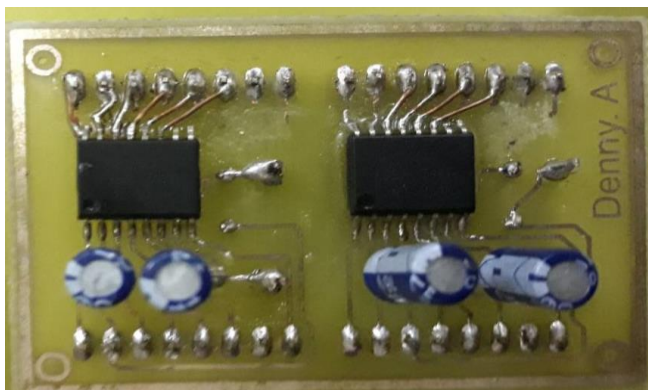
Gambar 3. 8 Rangkaian *gate drive* inverter satu fasa

IR2110S adalah jenis gate driver sebagai pembangkit sinyal ke masing masing MOSFET. Terdapat dua buah gate driver dengan tipe IR2110S untuk mengaktifkan *gate* MOSFET. IR2110 mendapat inputan sinyal dari kontroler SPWMOUT1, SPWMOUT2, SPWMOUT3 dan SPWMOUT4 menuju ke pin 12 sebagai *high input* dan 14 sebagai *low input* pada *gate driver*. IR2110, *datasheet* terlampir pada **LAMPIRAN C**, digunakan pada tegangan tinggi, MOSFET daya kecepatan tinggi saluran output referensi sisi atas yang independen serta rendah menggunakan teknologi CMOS yang memungkinkan kekebalan eksklusif. Konstruksi monolitik ruggedized, input logika kompatibel dengan Standar CMOS atau output LSTTL. Output Driver memiliki tahap buffer arus pulsa tinggi yang dirancang untuk minimum *Driver*

cross-conduction, dicocokkan untuk menyederhanakan penggunaan dalam aplikasi frekuensi tinggi. Keluaran dapat digunakan untuk menggerakkan MOSFET daya N-channel atau IGBT dalam konfigurasi sisi tinggi yang beroperasi hingga 500 atau 600 volt.



(a)



(b)

Gambar 3. 9 Rangkaian implementasi (a) pada EAGLE IR2110 (b) Rangkaian implementasi IR2110 hardware

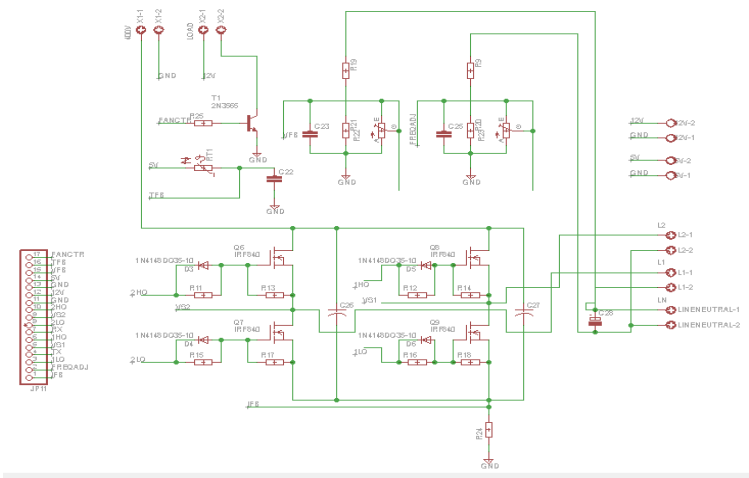
Terdapat dua IR2110 dimana setiap rangkaiannya terdapat dua buah kapasitor polar dibagian atas, dioda dan kapastor non-polar dibagian bawah.

3.4 Perencanaan dan pembuatan rangkaian topologi H-bridge

Teknik pensaklaran inverter yang sering digunakan adalah teknik pensaklaran *full bridge* inverter atau yang lebih dikenal dengan H bridge bipolar. Rangkaian inverter jembatan penuh satu fasa atau H-bridge inverter dapat dijelaskan melalui Gambar 3.10. Dalam penelitian tugas akhir ini teknik pensaklaran yang dipilih menggunakan teknik *H-bridge bipolar*. Teknik pensaklaran H bridge bipolar ini dipilih karena mempunyai efisiensi yang tinggi dengan THD yang baik serta penyerapan konsumsi daya yang lebih kecil [24].

Teknik pensaklaran yang dilakukan oleh Öztürk mengimplementasikan inverter satu fase menggunakan teknik pensaklaran bipolar yang mempunyai THD tegangan yang tinggi. Penelitian pada tugas akhir ini menggunakan topologi full bridge inverter sebagai saklar dayanya. Teknik pensaklaran full bridge inverter ini mempunyai efisiensi hampir 98% dengan THD yang rendah dan penyerapan konsumsi daya yang lebih kecil [25]

Inverter ini dirancang memiliki 4 MOSFET tipe IRF460 sebagai sakelar utama, dengan jenis PNP karena kemampuan V_{ds} mosfet tersebut ketika digabungkan memiliki batas nilai maksimal 500 Vds dan Id 20 A yang dapat di lihat pada **LAMPIRAN D**. Setiap saklar MOSFET memiliki dioda yang terhubung secara paralel satu sama lain tetapi dalam arah yang berlawanan. Diode yang digunakan diode tipe 1N4148 sebagai pengaman polaritas terbalik pada dc input yang dapat dilihat pada **LAMPIRAN E** Tujuan utama dari topologi VSI ini adalah untuk menyediakan sumber tegangan tiga fasa dimana amplitudo, fase, dan frekuensi dari tegangan selalu dapat dikontrol [26]



a

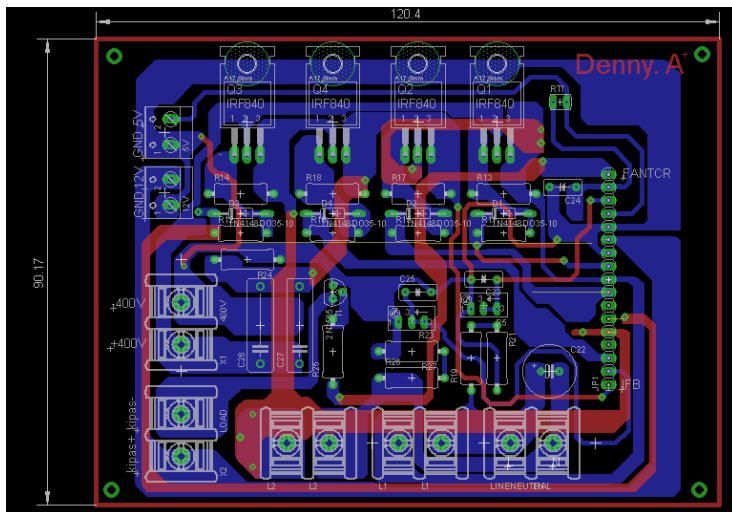


b

Gambar 3. 10 Implementasi rangkaian *H-bridge bipolar* (a) pada EAGLE (b) pada hardware

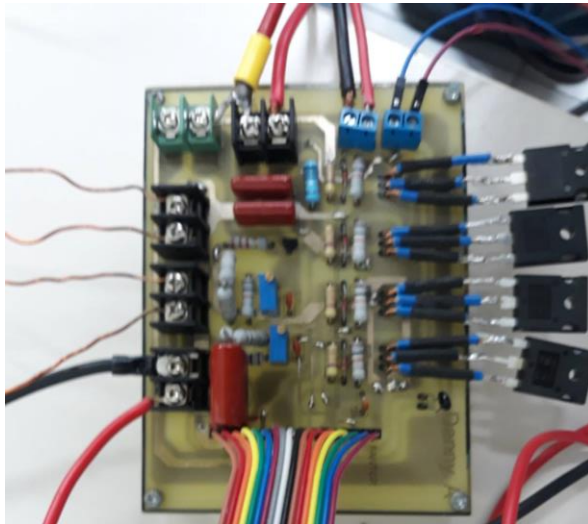
Adapun prinsip kerja full bridge inverter adalah jika saklar V1 dan V4 dalam keadaan ON, maka arus akan mengalir ke beban dari arah kiri ke kanan, sehingga terbentuklah gelombang pada periode setengah gelombang yang pertama. Selanjutnya jika saklar V3 dan V2 dalam keadaan ON, maka arus akan mengalir ke beban dari arah kanan ke kiri dan terbentuklah gelombang pada setengah periode kedua. Kaki kaki jembatan ini dialihkan sedemikian rupa sehingga tegangan output bergeser dari satu ke yang lain dan karenanya perubahan dalam polaritas terjadi dalam bentuk gelombang tegangan. [5]

Pembuatan skematik rangkaian *H-bridge* pada *software eagle 7.0.2* dengan model skematik seperti gambar 3.11 Setelah membuat skematik selesai dan juga pengecekan terhadap rangkaian selanjutnya adalah pembuatan pada *board*. Sebagai berikut :



Gambar 3. 11 Rangkaian PCB board H-bridge inverter satu fasa

Rangkaian pada gambar difungsikan untuk mengkoneksikan komponen-komponen elektronik secara konduktif dengan jalur (*track*), *pads*, dan via dari lembaran tembaga yang dilaminasikan pada substrat non konduktif. PCB ini berbentuk 2 layer dengan pertimbangan desain yang sudah didesain pada papan sirkuit cetak bisa berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan serta penggunaan berdaya tinggi, mengaplikasikan tegangan tinggi, dialiri arus kuat, memiliki frekuensi tinggi. Maka diperhitungkan dengan ketebalan papan sirkuit di fabrikasi dengan ketebalan adalah “*1 ounce copper*” pada layer eksternal. Hal ini dikarenakan pertimbangan pada arus maksimum yang dapat di alirkan pada jalur tersebut, termasuk juga dengan berapa kenaikan suhu pada jalur. Apabila kita mengaplikasikan arus yang cukup besar pada jalur tersebut tanpa mempertimbangkan ketebalan lapisan tembaga dan lebar jalur, maka temperatur akan meningkat dan pada kasus tertentu bisa mengakibatkan jalur terbakar.



Gambar 3. 12 Rangkaian implementasi H-bridge keseluruhan

Penempatan induktor berada di bagian kiri Gambar 3.12, dengan induktansi sebesar masing masing 3,3 mH. bagian kanan adalah H-bridge MOSFET. Bagian bawah adalah masuk ke kontroller keseluruhan menggunakan jumper.

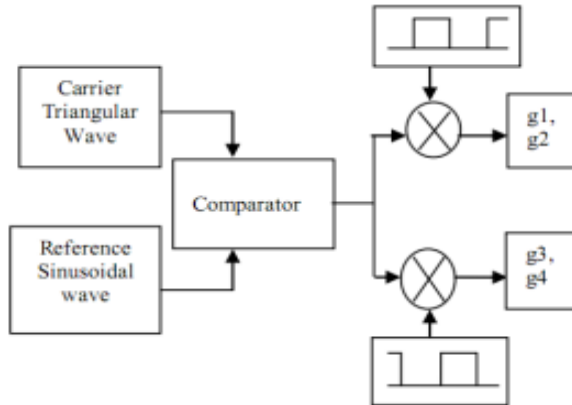
3.5 Perencanaan dan pembuatan rangkaian sinyal pembangkit SPWM

Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya. Salah satu jenis PWM adalah *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) dimana dalam metode ini memanfaatkan sinyal sinusoida sebagai sinyal referensi untuk dibandingkan dengan sinyal carrier dalam hal ini sinyal segitiga.

Besarnya sinyal SPWM yang dihasilkan tergantung dari besarnya sinyal referensi dan sinyal carrier. Besar amplitudo sinyal referensi dalam suatu persamaan dapat ditulis dengan A_r dan besarnya frekuensi sinyal referensi dinyatakan dengan f_r . Sedangkan besar amplitudo sinyal carrier dapat ditulis dengan A_c dan besarnya frekuensi sinyal carrier ditulis dengan f_c .

Sehingga dengan menentukan nilai besaran amplitudo sinyal referensi dan sinyal carrier maka dapat ditentukan besaran indeks modulasi. Besarnya nilai indeks modulasi pada umumnya berkisar antara nilai 0 dan 1. Keadaan dimana nilai indeks modulasi lebih dari 1 disebut dengan keadaan *overmodulation*. Pada saat keadaan overmodulasi sinyal tegangan keluaran cenderung lebih besar namun nilai harmonisa cenderung meningkat.

Untuk menentukan banyaknya jumlah pulsa tiap siklusnya digunakan perbandingan antara frekuensi sinyal carrier f_c dan frekuensi sinyal output f_o . Dengan menggunakan metode *sinusoidal pulse width modulation* faktor distorsi DF dan faktor harmonisa orde rendah dapat dikurangi secara signifikan. Sinyal SPWM dibangkitkan dengan cara membandingkan sinyal referensi sinusoidal dengan suatu sinyal carrier yang berbentuk segitiga. Frekuensi sinyal carrier f_c menentukan frekuensi sinyal keluaran inverter f_o . Blok diagram metode SPWM dapat dilihat dalam Gambar 3.13.

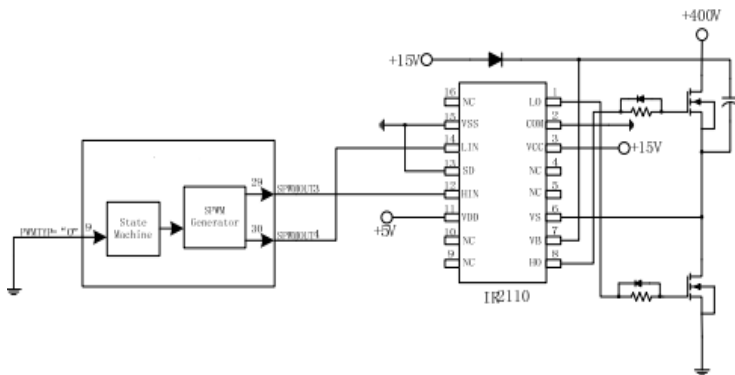


Gambar 3. 13 Diagramblok SPWM [32]

Dalam Gambar terlihat bahwa untuk menghasilkan sinyal PWM tersebut dapat menggunakan dua buah sinyal sinus dan satu sinyal segitiga atau dengan menggunakan satu buah sinyal sinus dan dua buah sinyal segitiga. Pada proses pembangkitan SPWM dengan menggunakan dua buah sinyal sinus dan sebuah sinyal segitiga, dilakukan perbandingan amplitudo antara sinyal segitiga dengan sinyal sinus. Sinyal penggerak akan dibangkitkan apabila amplitudo sinyal sinus lebih besar daripada amplitudo sinyal

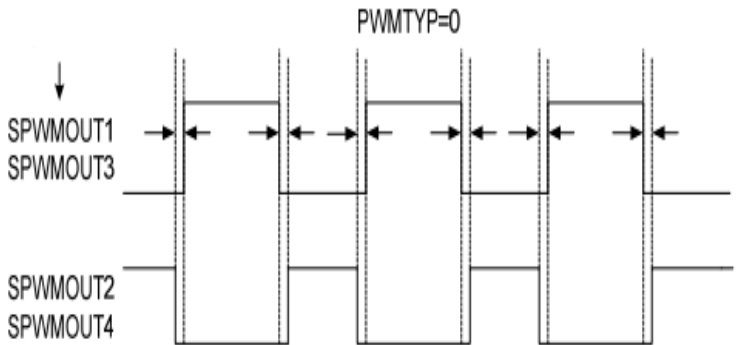
segitiga. Masing-masing sinyal penggerak digunakan untuk penyaklaran sehingga diperoleh sinyal PWM.

Proses pembangkitan SPWM secara digital dapat dilakukan dengan dua cara. Pertama dengan membangkitkan gelombang segitiga dan gelombang sinus dengan pembangkit sinyal. Kemudian dilakukan pembandingan untuk masing-masing nilai amplitudo gelombang sinus dan segitiga. Cara ini sama halnya dengan membangkitkan gelombang sinus analog dan gelombang segitiga analog secara digital. Cara kedua yaitu dengan mencari terlebih dahulu waktu untuk setiap pulsa masing-masing sinyal penggerak untuk dijadikan data dalam proses pembangkitan sinyal



Gambar 3. 14 Rangkaian SPWM pada kontroler

Pada pin PWMTYP dipilih jenis output PWM. Jika PWMTYP low, maka output PWM berupa positif untuk keluaran di mana *dead time* rendah dengan menggunakan *gate drive* (seperti driver IR2110). Gambar 3.14 adalah sebuah Skema aplikasi drive IR2110 ketika PWMTYP low.



Gambar 3. 15 PWM output dari kontroler

Gambar 3.15 adalah gelombang keluaran pin SPWMOUT (daya listrik tingkat tinggi sebagai input daya MOSFET.). PWMTYP high menghasilkan PWM negatif dan berlaku di mana *dead time* tinggi.

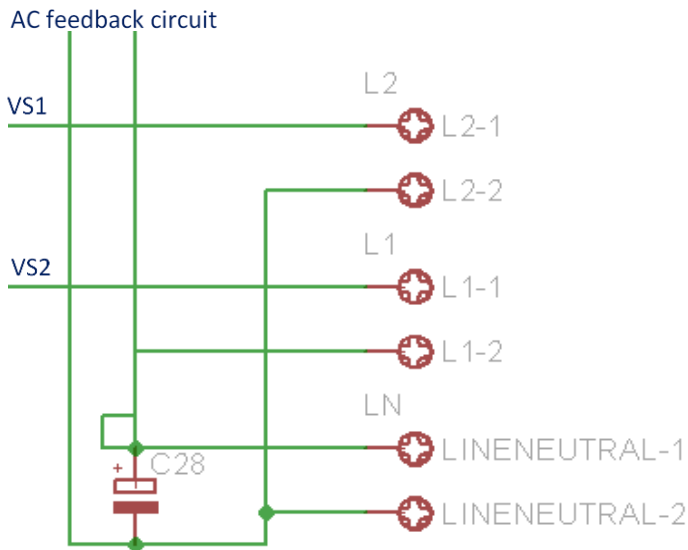
3.6 Perencanaan dan pembuatan rangkaian filter.

Filter adalah sebuah rangkaian penyeleksi frekuensi yang melewati frekuensi yang diinginkan dari masukan ke keluaran dan menahan atau mengeliminasi frekuensi yang tidak diinginkan.

Filter LCL bertujuan untuk mengurangi harmonisa orde tinggi pada sisi jaringan, tetapi desain filter yang buruk dapat menyebabkan redaman yang lebih rendah dibandingkan dengan apa yang diharapkan. Penyearah arus harmonisa dapat menyebabkan kejenuhan induktor atau resonansi filter. Oleh karena itu, induktor harus benar dirancang dengan mempertimbangkan arus ripple, dan filter harus teredam untuk menghindari resonansi.

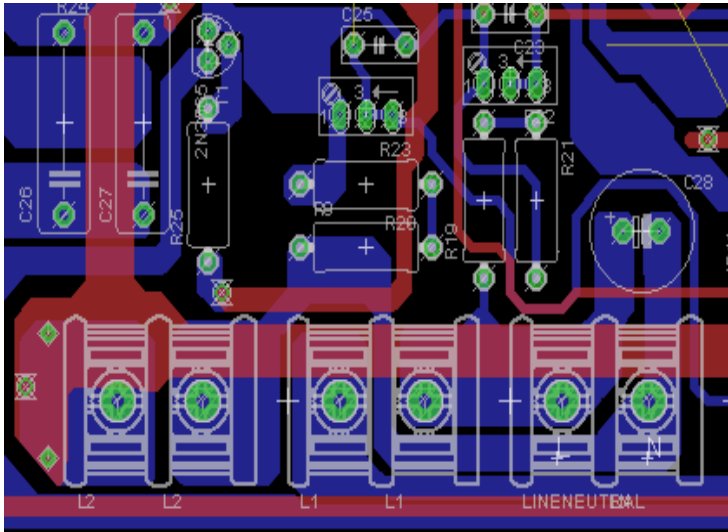
Namun, tingkat redaman dibatasi oleh biaya, nilai dari induktor, kerugian dari kinerja filter.

Perancangan filter harmonisa LCL ini terdiri atas tiga buah komponen nonlinear, yaitu berupa dua buah komponen induktor dan satu buah komponen kapasitor, dan juga satu buah komponen resistor sebagai dumping. Diperoleh nilai nilai C_f yang akan digunakan yaitu sebesar 2,2 μF digunakan sebagai salah satu komponen filter. Nilai L_1 dan L_2 yang diperoleh yaitu masing-masing bernilai 3,3 mH.



Gambar 3. 16 Implementas pada EAGLE

Rangkaian filter diatas terdapat 2 induktor dan satu kapasitor dimana induktor terhubung secara seri dan capasitor terhubung secara pararel.

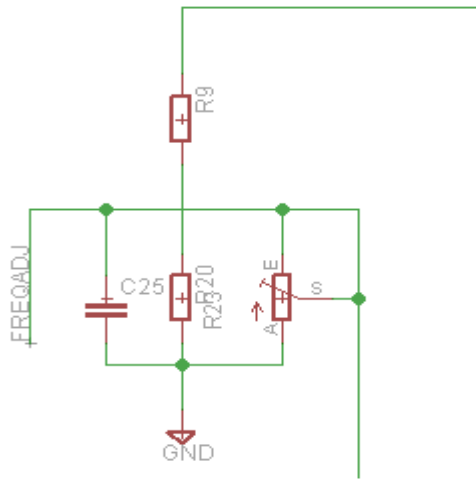


Gambar 3. 17 Rangkaian Filter

Dalam implementasi rangkain filter pada Gambar 3.17 dapat diamati bahwa pada bagian L1 adalah induktor pertama, L2 adalah induktor kedua. Jenis induktor bisa juga couple atau pun tidak.

3.7 Perencanaan dan pembuatan rangkaian adjustable frequency setting

Rangkaian inverter ini memiliki dua mode frekuensi: mode frekuensi konstan dan mode frekuensi yang dapat disesuaikan. Dalam mode frekuensi yang dapat disesuaikan, MODSEL pada kontroler utama harus terhubung ke ground. FRQSEL1 dan FRQSEL0 mengatur mode frekuensi. Dalam frekuensi konstan mode, menghasilkan frekuensi 50Hz dan menghasilkan frekuensi 60Hz. Di mode frekuensi yang dapat disesuaikan, output frekuensi dalam kisaran 0-100Hz dan frekuensi output dalam kisaran 0-400Hz. Pin FRQADJ menyesuaikan frekuensi seperti yang ditunjukkan pada gambar .



(a)

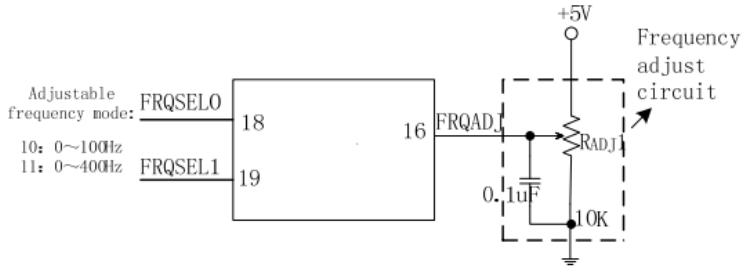


(b)

Gambar 3. 18 Implementasi (a) rangkaian pada EAGLE (b) pada hardware

Gambar 3.19 adalah implementasi dari adjustable frequency dengan komponen yang terdiri dari trimpot 10 KOhm, resistor 200 KOhm, 10 KOhm, kapasitor 0,1 uF. Input melalui yang bertanda

FREQADJ dari kontrol SPWM generator dan output melalui R9 200 Kohm menuju ke bagian neutral dibagian output 220 Volt.



Gambar 3. 19 Rangkaian Frequency adjustable

FRQSEL1 dan FRQSELO mengatur mode frekuensi. Dalam frekuensi konstan mode, "00" menghasilkan frekuensi 50Hz dan "01" menghasilkan frekuensi 60Hz. Di mode frekuensi yang dapat disesuaikan, "10" output frekuensi dalam kisaran 0-100Hz dan "11" frekuensi output dalam kisaran 0-400Hz. Pin FRQADJ menyesuaikan frekuensi seperti yang ditunjukkan pada gambar. Pin FRQADJ tegangan bervariasi dari 0-5V, yang sesuai dengan frekuensi gelombang output fundamental dari 0-100Hz atau 0-400Hz.

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

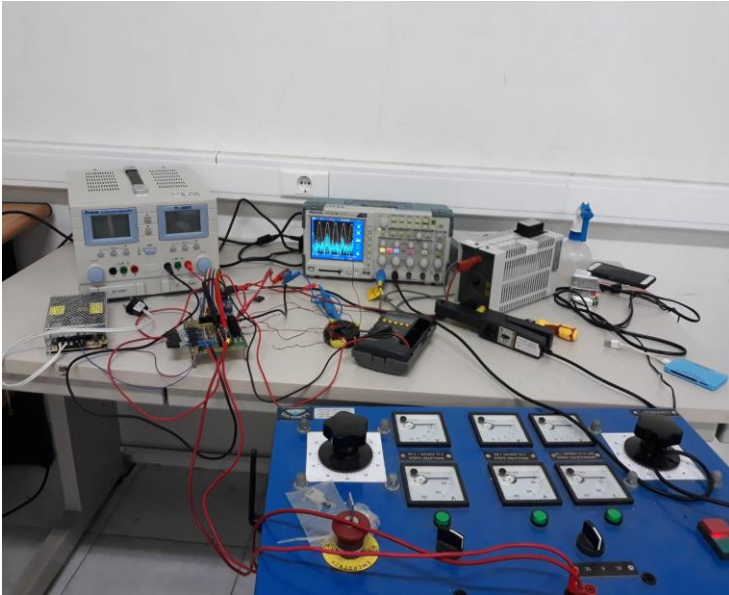
4.1 Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memberikan perubahan masukan pada masing-masing blok diagram yang akan diuji. Dari hasil pengujian tersebut maka akan didapat data yang nantinya akan dianalisis untuk dijadikan dasar acuan dalam penyusunan kesimpulan. Pengujian ini dilakukan dengan menggabungkan keseluruhan blok sistem yang ada untuk kemudian dirangkai dan dilakukan pengujian.

Pada Gambar 4.1 merupakan hasil perancangan *voltage source inverter* satu fasa dengan metode pensaklaran SPWM. Dengan terdiri dari rangkaian kontrol utama, *h-bridge* dan induktor.



Gambar 4. 1 Rangkaian *voltage source inverter*



Gambar 4. 2 Proses pengujian *voltage source inverter*

Pengujian dilakukan dengan beberapa peralatan seperti Supply generator 300 Vdc, Osiloscope, Beban 1000 Ohm, Clam meter arus, Supply 5 Volt, Supply 12 volt, Multimeter, dan Jumper banana. Pengambilan data uji dilaksanakan dengan mencoba outputan pada kontroler SPWM generator. Jika sudah sesuai maka selanjutnya memberikan input rentang 100-320 Vdc pada rangkaian h-bridge agar mengetahui kondisi kesetabilan rangkaian, komponen dan juga saturasi induktansi. Pengujian pertama dilakukan tanpa memberikan beban, pengujian kedua dilakukan tambahan beban 1000 Ohm dan yang terakhir pengambilan data uji arus terhadap beban.

Berdasarkan uji coba pada rangkaian keselauruhan didapatkan beberapa data sebagai berikut ini.

4.1.1 Rangkaian driver MOSFET dengan kontroler

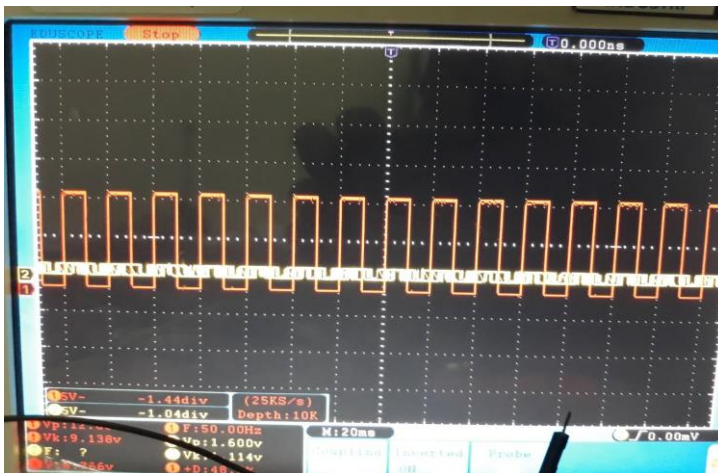
Langkah awal dari pembuatan rangkaian driver MOSFET voltage source inverter satu fasa ini adalah memilih alat dan bahan sebagai spesifikasi dari perancangan inverter. Dalam hal ini dipilihlah MOSFET tipe IRFP460 sebagai switching device, IC IR2110 sebagai MOSFET driver agar MOSFET mampu bekerja sesuai dengan topologi rangkaian full bridge.

Di dalam tahap pembuatan, voltage source inverter menggunakan mikrokontroler ATmega128 dan kontrol SPWM Generator sebagai pembangkit sinyal SPWM. Pada rangkaian driver kontrol SPWM generator terdapat beberapa bagian, dengan masing-masing fungsinya, agar mampu memberikan penguatan sinyal input ke MOSFET. Bagian utama untuk memberikan sinyal SPWM adalah bagian kontrol SPWM generator yang dihubungkan secara langsung ke bagian gate MOSFET sebagai SPWMOUT1, SPWMOUT2, SPWMOUT3, SPWMOUT4. Kontrol SPWM generator dihubungkan melalui serial komunikasi dengan mikrokontroler untuk memberikan perintah.



Gambar 4. 3 Rangkaian kontrol SPWM generator

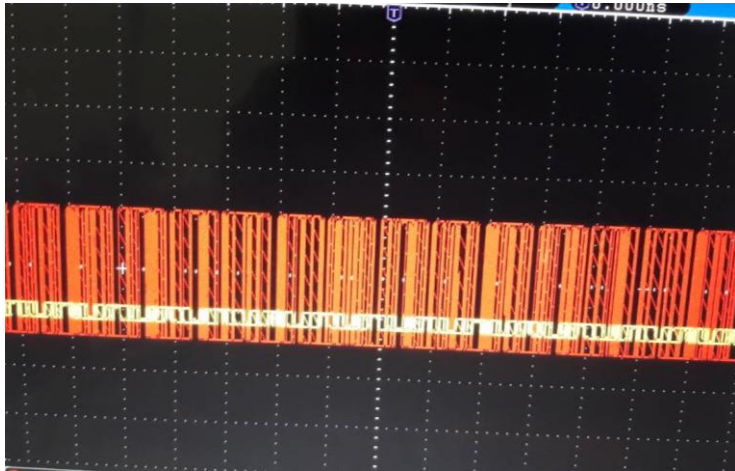
Pada pengujian IR2110 input yang dimasukkan untuk mensupply get driver tersebut sebesar 12 volt yang berasal dari power supply, dan keluaran yang didapatkan pada rangkaian driver MOSFET tersebut berupa sinyal High dan Low. Dimana keluaran rangkaian get driver IR2110 tipe S pada bagian sinyal keluaran sinyal High dan Low tersebut dihubungkan dengan bagian probe positif dan negatif pada osiloskop.



Gambar 4. 4 Gelombang PWM

Gambar 4.4 terdapat dua chenel, dimana warna merah dan kuning yang diambil dari gambar osiloskop merek Eduscope 3000. Pada chenel satu warna merah diperkuat 1x pada probe untuk menunjukkan sinyal berupa PWM dan ada chenel 2 warna kuning diperkuat 10x pada probe.

Data didapatkan dari pemodelan rangkaian driver MOSFET dengan kontroller yang mendapatkan hasil melalui osiloskop sebagai berikut :



Gambar 4. 5 Gelombang SPWM keluaran driver IR2110

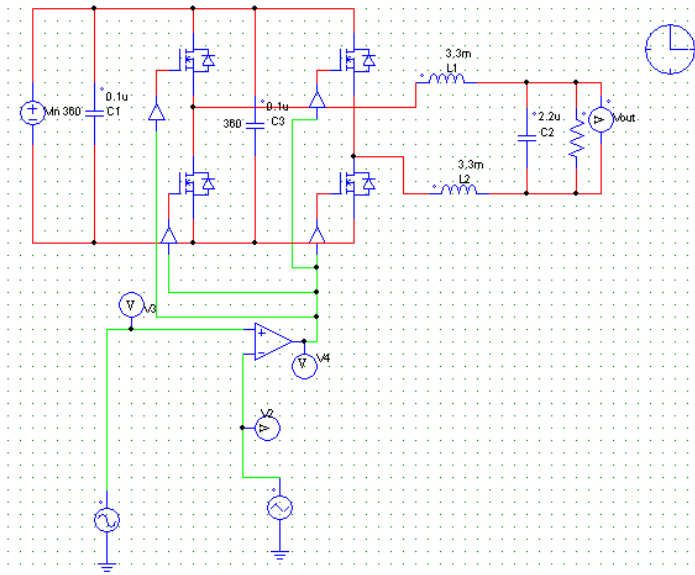
Gambar 4.6 merupakan gambar keluaran driver MOSFET yaitu IC IR2110. Tampak di atas bahwa sinyal yang dihasilkan berbentuk SPWM sama seperti pada gelombang output SPWM simulasi. Gelombang output dari driver MOSFET IR2110 yang masuk ke gate dari MOSFET.

4.1.2 Rangkaian topologi H-bridge dan Pembangkit SPWM

Untuk pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan menggunakan software Power Simulator. Keunggulan dari software ini yaitu dapat melakukan perhitungan dan analisis rangkaian elektronika daya dan menampilkan keluaran dalam bentuk grafik fungsi waktu maupun frekuensi. Selain melakukan simulasi, program Power Simulator dapat memberikan data-data yang digunakan untuk membuat program dengan metode SPWM dalam kontroler. Dalam software simulasi ini dapat dihasilkan suatu sinyal keluaran baik tegangan maupun arus dalam kawasan waktu maupun frekuensi. Dari hasil tersebut dapat dihitung nilai

fundamental dari sinyal tegangan maupun arus dan juga komponen penyusun harmonisnya. Untuk pengujian rangkaian, dilakukan dengan mengasumsikan nilai parameter sebagai berikut :

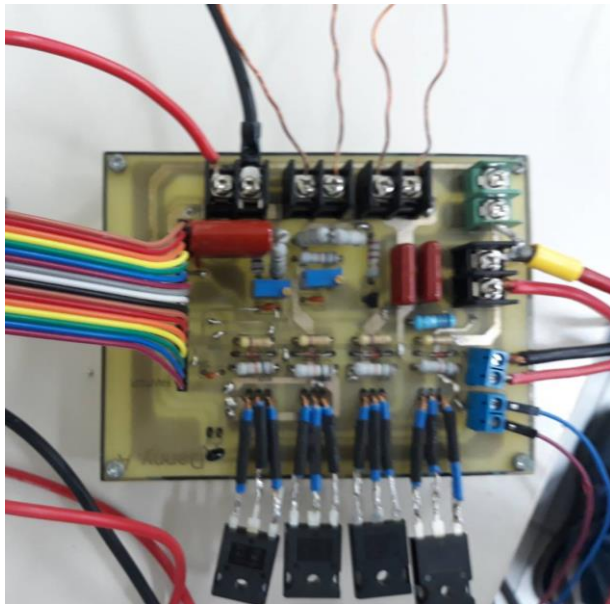
- Tegangan DC Sumber = 320 V
- Induktansi = 3,3 mH
- Beban Resistif = 1000 Ω
- Frekuensi Switching = 5000 Hz
- Indeksi Modulasi = 0,56 V



Gambar 4. 6 Rangkaian pengujian *H-bridge*

MOSFET. Pada Rangkaian H-Bridge, digunakanlah 4 buah MOSFET IRF460 dengan jenis bipolar NPN. Rangkaian ini disebut H-Bridge karena MOSFET dirangkai sehingga menyerupai

huruf H. Fungsi MOSFET yang digunakan pada rangkaian inverter ini digunakan sebagai saklar. Dengan mengontrol basis dari MOSFET hingga komponen ini menjadi jenuh, akan menyebabkan seolah – olah diperoleh hubungan singkat antara kaki-kaki MOSFET. Fenomena inilah yang dapat dimanfaatkan hingga MOSFET dapat digunakan sebagai saklar.

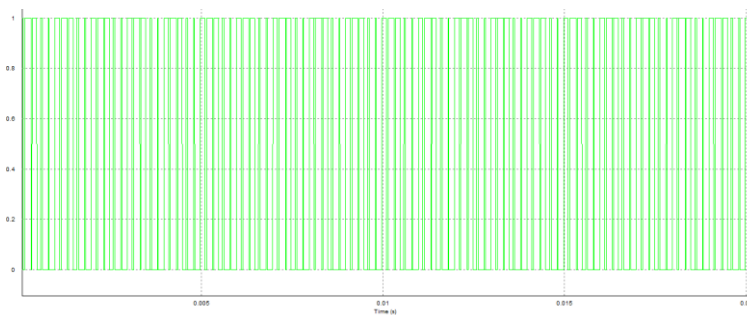


Gambar 4. 7 Implementasi rangkaian *H-bridge*

H-bridge yang terlihat pada Gambar 4.8 adalah implementasi dalam hardware. Terdapat sensor suhu dibagian dekat MOSFET untuk mengaktifkan fan ketika suhu diatas 45 derajat celcius. Setiap MOSFET dilengkapi rangkaian snubber, rangkaian Snubber akan mengamankan komponen elektronik dari lonjakan tegangan listrik terutama untuk komponen yang mudah rusak seperti MOSFET.

Pengujian sinyal SPWM dilakukan agar saat sinyal digunakan untuk men-trigger MOSFET tidak terjadi kesalahan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan osiloskop digital. Sinyal yang diamati adalah sinyal SPWM output SPWM generator, sinyal output driver, dan sinyal hasil inverting.

Gelombang sinusoida 0,8 Vp, 50 Hz, sebagai sinyal referensi dibandingkan dengan gelombang segitiga 1,42 Vpp, 5000 Hz sebagai sinyal carrier. Hasil komparasi kedua gelombang tersebut akan menghasilkan sinyal Modulasi Lebar Pulsa atau Sinusoidal Pulse Width Modulation dengan indeks modulasi sebesar 0.56. Gambar 4.6 merupakan sinyal pulsa SPWM untuk pemicuan saklar

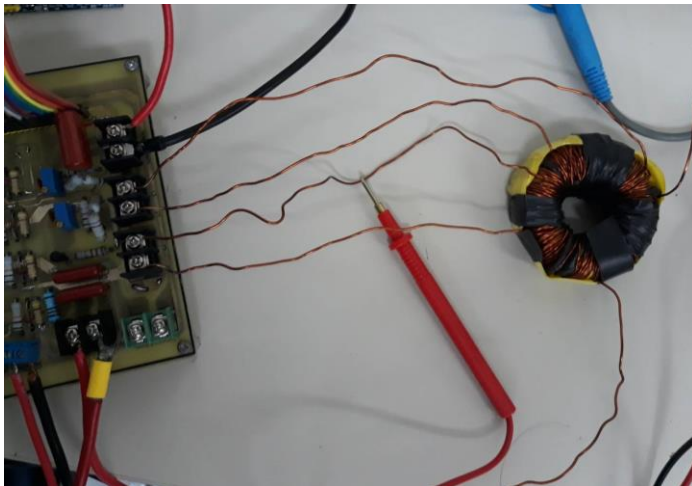


Gambar 4. 8 Sinyal SPWM dengan indeks modulasi 0,68

Sinyal SPWM digunakan untuk pemicuan driver MOSFET pada inverter yaitu V1, V2, V3, V4. Sinyal keluaran dari kontrol SPWM generator akan menuju driver sebelum akhirnya mengkonduksi MOSFET pada rangkaian inverter. Hal ini bertujuan agar kontrol SPWM generator tidak mengalami kerusakan jika terjadi pelonjakan arus yang cukup besar dari MOSFET. Tinggi rendahnya arus yang mengalir pada beban nilainya tergantung dari besar kecilnya beban. Semakin besar beban, maka arus yang mengalir dalam rangkaian akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya.

4.1.3 Rangkaian filter

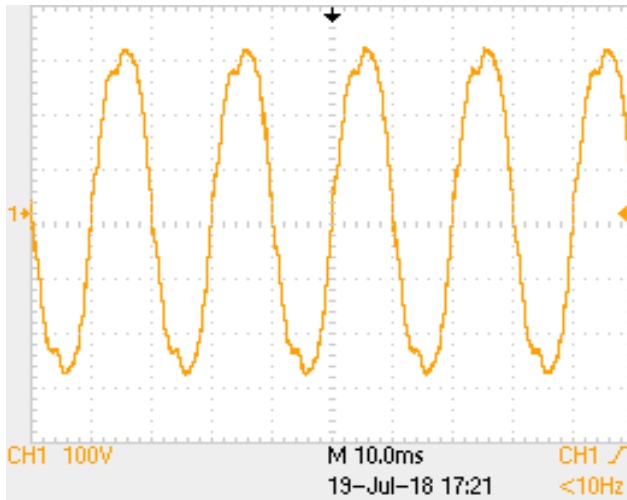
Untuk bagian LC Filter, berdasarkan hasil perhitungan, digunakan sebuah ferrite core induktor sebesar 3,3 mH dan sebuah kapasitor non polaritas sebesar 2,2 uF. LC Filter ini berfungsi sebagai rangkaian filter gelombang keluaran inverter agar dihasilkan bentuk gelombang yang lebih halus/smooth yang mendekati kepada gelombang sinusoidal murni dan meminimalisir tingkat harmonisa yang dihasilkan oleh inverter. Implementasi rangkaian filter terdiri dari induktor sebanyak dua buah yang tersusun secara paralel, kapasitor yang tersusun secara seri dengan kedua induktor seperti :



Gambar 4.9 Rangkaian filter

Berdasarkan pada gambar menunjukkan bahwa penggunaan induktor 1 berada dibagian atas dan untuk induktor 2 berada pada bagian bawahnya. Sedangankan terletak secara vertikal dengan kapasitas 2,2 uF/400V.

Bentuk sinyal gelombang masukan dan keluaran pada inverter merupakan bagian yang diamati pada pengujian ini. Sinyal keluaran dari full bridge inverter merupakan sinyal masukan pada filter.

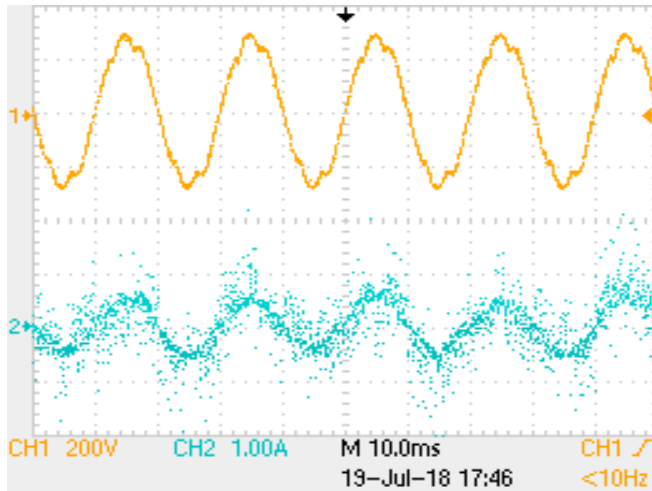


Gambar 4.10 Gelombang keluaran setelah filter

Gambar 4.10 menunjukkan bentuk gelombang tegangan setelah lowpass filter. Berdasarkan pengamatan pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa bentuk gelombang keluaran inverter setelah lowpass filter berbentuk gelombang sinusoida. Bentuk gelombang keluaran inverter setelah lowpass filter akan semakin menyerupai pola sinusoida apabila beban resistif yang diberikan.

Berdasarkan gambar 4.11 tegangan dan arus dengan filter yang diberi beban, terdapat dua buah sinyal yaitu sisi atas adalah bentuk gelombang tegangan sedangkan pada sisi bawah merupakan bentuk gelombang arus setelah lowpass filter. Bentuk gelombang arus dan

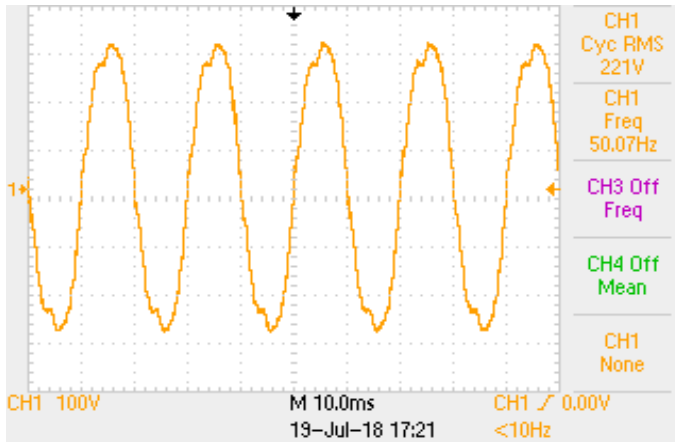
tegangan keluaran dengan beban sebesar 1000 Ohm setelah lowpass filter yang dibandingkan secara bersamaan. Hasil yang didapatkan adalah ketika diberikan beban maka bentuk sinyal akan sedikit berubah sesuai besar beban yang diberikan, baik terhadap arus maupun tegangannya.



Gambar 4.11 Gelombang keluaran tegangan dan arus

4.2 Analisa Data

Pengujian ini dilakukan untuk melihat performa inverter satu fasa. Pengujian tanpa beban dengan memberikan input DC ke dalam inverter dan melihat bentuk gelombang tegangan yang dihasilkan. Berikut adalah bentuk gelombang tegangan line-to-line pada inverter pada tegangan input DC 320 volt dan indeks modulasi 0,56. Pada hasil pengujian didapatkan sinyal tegangan dengan beban dan tanpa beban, serta pengambilan data arus.



Gambar 4.12 Gelombang Tegangan Output Inverter

Nilai tegangan rms pada Gambar 4.12 adalah 221V, maka nilai V_p nya adalah:

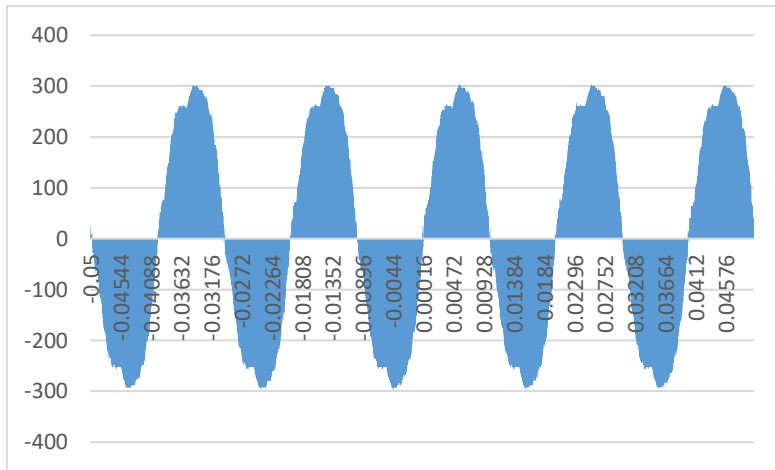
$$V_p = V_{rms} \times \sqrt{2} = 221 \times \sqrt{2} = 312,54 \text{ V}$$

Nilai tersebut dapat dibuktikan melalui persamaan tegangan output inverter. Tegangan output inverter dipengaruhi oleh tegangan DC input dan indeks modulasi dari sinyal SPWM. Maka, nilai tegangan line-to-line output inverter dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_{Dc} = m \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} V_{rms} = 0,56 \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} .220 = 320,77 \text{ V}$$

Hasil pengujian lebih kecil dibandingkan dengan hasil perhitungan. Adanya kenaikan tegangan akibat proses pensaklaran yang tidak sempurna karena adanya spike gelombang. Sinyal

frekuensi yang diberikan adalah 50Hz. Berikut adalah hasil pengujian dilakukan dengan tanpa beban.

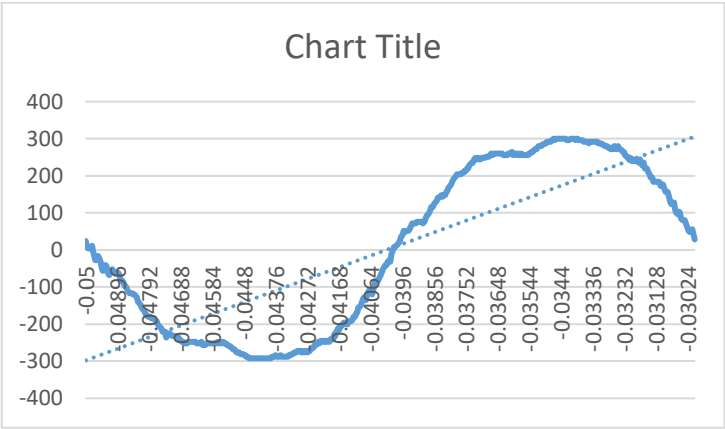


Gambar 4. 13 Gelombang keluaran tegangan tanpa beban

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{300}{\sqrt{2}} = 212 \text{ V}$$

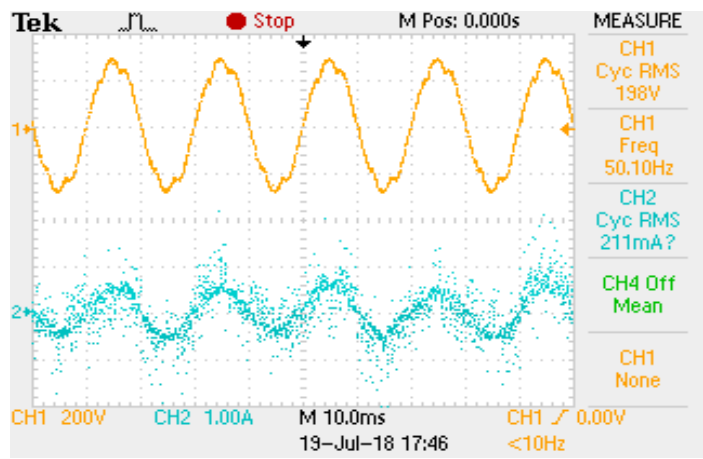
Dari hasil percobaan tegangan input hanya mencapai 300 V menggunakan supply generator. Dengan begitu hasil yang didapatkan untuk V_{rms} adalah 212 V. Data diambil menggunakan asiloscope dengan data setiap satu gelombang adalah 1000 data, Terlampir. Dengan rentang waktu 0.05-0.03 detik. Setiap gelombang menghasilkan :

- $V_p = 300 \text{ V}$.
- $V_{max} = 300 \text{ V}$
- $V_{min} = 300 \text{ V}$
- $V_{pp} = 600 \text{ V}$



Gambar 4. 14 Gelombang keluaran tegangan tanpa beban satu periode

Gambar 4.14 adalah bentuk gelombang keluaran tegangan tanpa beban dengan rentang waktu 0.05-0.03.



Gambar 4. 15 Gelombang keluaran tegangan dan arus

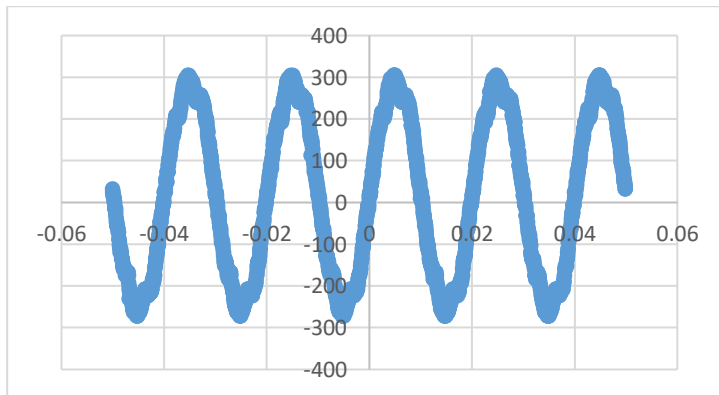
Gambar 4.15 perhitungan tegangan dan arus terhadap beban ditampilkan bahwa nilai V_{rms} adalah 198 Volt maka nilai V_p didapat sebagai berikut :

$$V_p = V_{rms} \times \sqrt{2} = 198 \times \sqrt{2} = 280 \text{ V}$$

Nilai tersebut dapat dibuktikan melalui persamaan tegangan output inverter. Tegangan output inverter dipengaruhi oleh tegangan DC input dan indeks modulasi dari sinyal SPWM. Maka, nilai tegangan line-to-line output inverter dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_{Dc} = m \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} V_{rms} = 0,56 \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} .198 = 135,799 \text{ V}$$

Hasil pengujian lebih besar dibandingkan dengan hasil perhitungan. Adanya kenaikan tegangan akibat penambahan beban. Sebab semakin besar beban juga akan semakin besar tegangan keluaran pula sesuai dengan persamaan $V = I \times R$. Berikut adalah hasil pengujian dilakukan dengan beban.

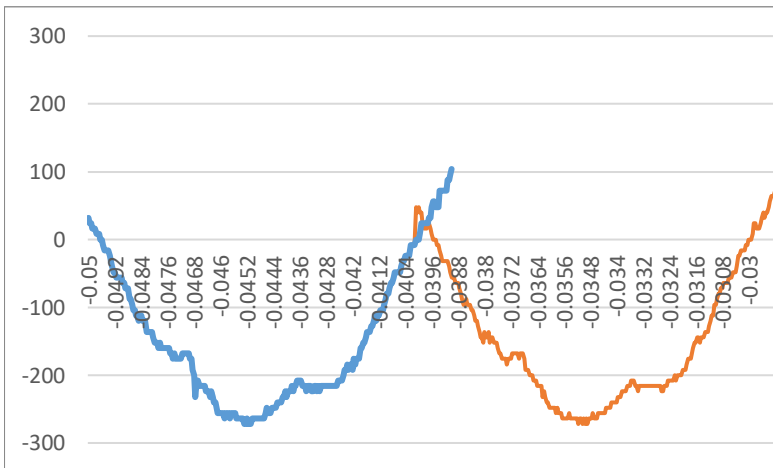


Gambar 4. 16 Gelombang keluaran tegangan dengan beban

$$V_{rms} = \frac{V_{pp}}{\sqrt{2}} = \frac{560}{\sqrt{2}} = 197,989 \text{ V}$$

Dari hasil percobaan tegangan input hanya mencapai 300 V menggunakan supply generator. Dengan begitu hasil yang didapatkan untuk V_{rms} adalah 198 V. Data diambil menggunakan asiloscope dengan data setiap satu gelombang adalah 1000 data, Terlampir. Dengan setiap gelombang menghasilkan :

- a. V_{in} = 300 V
- b. V_p = 280 V.
- c. V_{max} = 280 V
- d. V_{min} = -280 V
- e. V_{pp} = 560 V

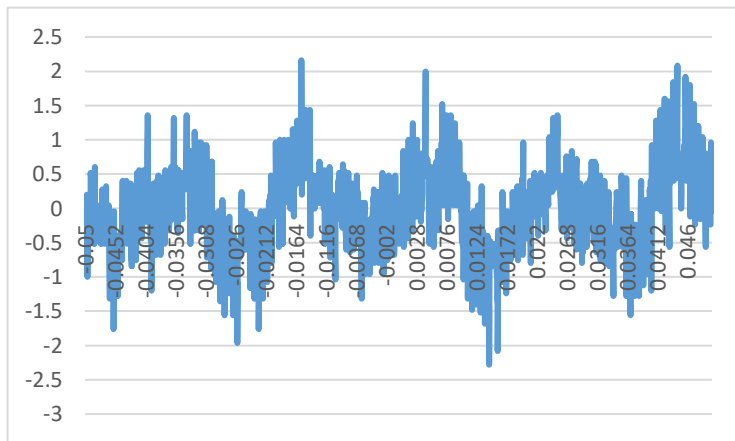


Gambar 4. 17 Gelombang keluaran tegangan dengan beban

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa tegangan mencapai 280 V dan dapat dianalisa grafik menunjukkan tegangan V_p dan dikarenakan data menunjukkan sesuai dengan rms yang tertera

pada pengujian. Dengan begitu di dapatkan tegangan keluran rata rata sebagai berikut :

$$V_{avg} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{dc} = \frac{2\sqrt{2}}{3,14} 300 = 270 \text{ V}$$



Gambar 4. 18 Gelombang arus

Dari hasil percobaan tegangan input hanya mencapai 300 V menggunakan supply generator. Hasil yang didapatkan untuk Arus rms adalah 198 V. Gambar 4.18 adalah data diambil menggunakan asiloscope dengan data setiap satu gelombang adalah 1000 data, Terlampir. Dengan setiap gelombang pada Gambar 4.19 sebagai berikut :

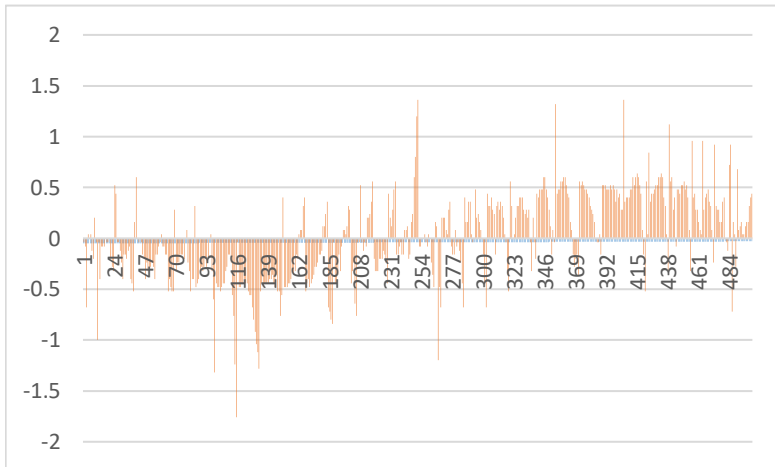
- a. V_{in} = 300 V
- b. V_{out} = 221 V.
- c. Resistansi = 1000 Ohm

Dapat diketahui bahwa untuk mencari arus keluaran rata rata adalah sebagai berikut :

$$I_{o,avg} = \frac{V_o}{R} = \frac{221}{1000} = 221 \text{ } \mu A$$

Dengan begitu untuk mencari arus rms keluaran adalah sebagai berikut :

$$I_{rms} = \frac{V_s}{R} = \frac{320}{1000} = 32 \text{ } \mu A$$



Gambar 4. 19 Gelombang arus satu periode

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan proses perencanaan, pembuatan dan pengujian alat serta dengan membandingkan dengan teori –teori penunjang, dan dari data yang telah didapat berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.:

1. Penggunaan metode SPWM dengan mode kontrol dapat menghasilkan sinyal sinusoidal. Dibutuhkan input 320 Vdc agar mendapat tegangan Vrms 220 Vac dengan frekuensi 50 Hz.
2. Mendesain H-bridge dilengkapi dengan feedback arus, tegangan dan juga suhu untuk menjaga kesetabilan serta outputan dari h-bridge

5.2 Saran

Pada pengerjaan Tugas Akhir ini tentu tidak lepas dari berbagai macam kekurangan dan kelemahan, baik itu pada sistem maupun pada peralatan yang telah dibuat. Untuk memperbaiki kekurangan dari peralatan tersebut, maka perlu melakukan hal – hal sebagai berikut :

1. Untuk menghindari saturasi dan tegangan spike perlu adanya penyempurnaan pada induktor.
2. Gunakan metode SPWM dengan tepat dengan mode kontrolnya.
3. Jangan meremehkan pengambilan data, perlu diingat, dipersiapkan dan dicatat data apa saja yang perlu diambil, termasuk serial komunikasi dan juga harmonisa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Izzah, “RANCANG BANGUN SISTEM INVERTER FULL BRIDGE 1 FASA 220V DENGAN TOPOLOGI BOOST KONVERTER SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK RUMAH TANGGA,” ITS, surabaya, 2016.
- [2] T. yanto, “perancangan push-pull 48VDC ke 220 VAC,” FT UMRAH, 2016.
- [3] L. Yustisia, “RANCANG BANGUN UPS UNTUK BEBAN (900VA) BERBASIS MIKROKONTROLLER,” POLITEKNIK ELEKTRONIKA NEGERI SURABAYA, surabaya, 2011.
- [4] B. Majhi, “Analysis of Single-Phase SPWM Inverter,” Department of Electrical Engineering National Institute of Technology, Rourkela, 2012.
- [5] aswardi, “<http://elearning-ft.unp.ac.id/>,” UNP, 2009. [Online]. [Diakses 17 06 2018].
- [6] S. P. Putra, “GABUNGAN METODE DETEKSI ISLANDING BERDASARKAN PERGESERAN FREKUENSI AKTIF DAN VARIASI AMPLITUDO TEGANGAN PADA SISTEM PHOTOVOLTAIC TERHUBUNG KE JALA-JALA,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, surabaya, 2017.
- [7] Y. A. S. dkk, “Rancang Bangun Inverter 1 Fasa dengan Kontrol Pembangkit Pulse Width Modulation (PWM),” *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 82-83, 2017.
- [8] U. Hisbullah, “RANCANG BANGUN PENGUBAH DC KE AC (INVERTER) PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTA),” 2007.

- [9] D. W. Istanto, Elektronika daya, Yogyakarta: Universitas Negri Yogyakarta, 2010.
- [10] H. Yanuarsyah, Elektronika Daya Lanjut, Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi,, 1998.
- [11] B. Tauhid, “Perancangan Inverter Satu Fasa PWM dengan Teknik Eliminasi Harmonisa,” Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak, Pontianak.
- [12] H. L. a. J. Wang, “Analysis and control of a single fase AC chopper in series connection with an auto transformer,” dalam *presented at the ICAC 12 - Proceedings of the 18th International Conference on Automation and Computing: Integration of Design and Engineering*, pp. 49–54., 2012.
- [13] S. Hadi, Mengenal Mikrokontroller Atmega 16, Jombang, 2008.
- [14] Asnil, “Harmonik Pada Inverter,” *Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, vol. 10, no. 2, 2009.
- [15] A. Sugiyono, “teknik Penghilangan Harmonisa Pada Inverter Satu Fasa Dengan Mikroprosesor Sebagai Pembangkit Sinyal Kendali,” ITB, bandung, 1988.
- [16] W. Putra, “Analisis Dan Upaya Pengurangan Efek Harmonisa Pada Generator Set (Genset) Dengan Pembebanan Non Linear,” Teknik Elektro Universitas Andalas , padang, 2013.
- [17] E. Defi, “Analisa Perambatan Arus Harmonisa pada Generator Induksi Penguatan Sendiri dengan Peralatan Kontrol Elektronik.,” Teknik Elektro Universitas Andalas, Padang, 2013.
- [18] H. A. Lastya, “Analisa Perbandingan Perancangan Filter LCL Pada Penyearah Terkendali Satu Fasa Full Converter dengan Penyearah PWM Satu Fasa Full Bridge,” Teknik Elektro FT Universitas Sumatera Utara., sumatera utara, 2012.

- [19] D. B. Albert Malvino, *Electronic Principle*, New York: McGraw-Hill Education, 2016.
- [20] TDK, “en.tdk.eu,” [Online]. Available: <https://en.tdk.eu/download/531110/5608e4b12153bb12af2808fbedc5a55b/pdf-applicationnotes.pdf>. [Diakses 24 07 2018].
- [21] F. Umarella, “analisa induktor toroid binokuler pada rangkaian boost converter,” Universitas Indonesia, depok, 2012.
- [22] R. Ratnasari, “Koordinasi proteksi arester PCB dan Dioda Zener dengan elemen dekopling pada peralatan listrik,” Universitas Brawijaya, Malang, 2014.
- [23] A. Tiara, “lib.ui.ac.id,” 2009. [Online]. Available: [http : // lib.ui.ac.id/file-desain-rangkaian-metodologi.pdf](http://lib.ui.ac.id/file-desain-rangkaian-metodologi.pdf). [Diakses 30 07 2018].
- [24] N. Turahyo, “IMPLEMENTASI SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION PADA INVERTER SATU FASE BERBASIS LOOKUP TABLE MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER 16-BIT,” *semnastek*, no. 2460 – 8416, p. 2407 – 1846, 2017.
- [25] S. a. I.Çadirci, “DSPIC Microcontroller Based Implementation of a Flyback PV Microinverter Using Direct Digital Synthesis,” dalam *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)* pp.3426-2433, 2013.
- [26] M. Rashid, *Power Electronics Handbook*, California: Academic Press, 2001.
- [27] R. N. H. M. A. M. Lalu Riza Aliyan, “Desain Inverter Tiga Fasa dengan Minimum Total Harmonic Distortion Menggunakan Metode SPWM,” *EECCIS*, No. 1, vol. 8, no. 1, 2014.
- [28] primayunta, “energi_terbarukan,” 2010. [Online]. Available: https://www.wwf.or.id/tentang_wwf/upaya_kami/iklim

_dan_energi/solusikami/mitigasi/energi_terbarukan.cfm.

- [29] e. g. supriatna, “analisis dan minimalisi riak sisi AC dan sisi DC inverter PWM lima-fasa,” Institut Teknologi Bandung, bandung, 2007.
- [30] K. A. dkk, “Desain dan Analisis Inverter Satu Fasa dengan Menggunakan Metode SPWM Berbasis Arduino,” *KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 2, no. 4, pp. 36-44, 2017.
- [31] P. E. R. G. Ellis, “samplecode.rockwellautomation.com,” [Online]. Available: http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/mvb-wp011_en-p.pdf..
- [32] S. A. B. & S. R. Jagtap, “Harmonic Analysis of Sinusoidal Pulse Width Modulation,” *E & Tc. Dept., R.I.T*, vol. 2, no. 5, pp. 2278-8948, 2013.

LAMPIRAN A

LM393



Product Folder



Sample & Buy



Technical Documents



Tools & Software



Support & Community



TEXAS
INSTRUMENTS

LM193-N, LM2903-N, LM293-N, LM393-N

DS90C03-10 OCTOBER 1999-REVISED DECEMBER 2014

LMx93-N, LM2903-N Low-Power, Low-Offset Voltage, Dual Comparators

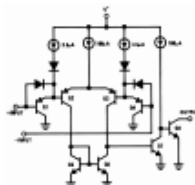
1 Features

- Wide Supply
 - Voltage Range: 2.0 V to 36 V
 - Single or Dual Supplies: ± 1.0 V to ± 18 V
- Very Low Supply Current Drain (0.4 mA) — Independent of Supply Voltage
- Low Input Biasing Current: 25 nA
- Low Input Offset Current: ± 5 nA
- Maximum Offset voltage: ± 3 mV
- Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to the Power Supply Voltage
- Low Output Saturation Voltage: 250 mV at 4 mA
- Output Voltage Compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems
- Available in the 8-Bump (12 mil) DSBGA Package
- See AN-1112 (SNVA009) for DSBGA Considerations
- Advantages
 - High Precision Comparators
 - Reduced V_{OS} Drift Over Temperature
 - Eliminates Need for Dual Supplies
 - Allows Sensing Near Ground
 - Compatible with All Forms of Logic
 - Power Drain Suitable for Battery Operation

2 Applications

- Battery powered applications
- Industrial applications

4 Simplified Schematic



3 Description

The LM193-N series consists of two independent precision voltage comparators with an offset voltage specification as low as 2.0 mV max for two comparators which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground, even though operated from a single power supply voltage.

Application areas include limit comparators, simple analog to digital converters; pulse, squarewave and time delay generators; wide range VCO; MOS clock timers; multivibrators and high voltage digital logic gates. The LM193-N series was designed to directly interface with TTL and CMOS. When operated from both plus and minus power supplies, the LM19-N series will directly interface with MOS logic where their low power drain is a distinct advantage over standard comparators.

The LM393 and LM2903 parts are available in TI's innovative thin DSBGA package with 8 (12 mil) large bumps.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM193-N	TO-99 (8)	9.26 mm x 9.08 mm
LM2903-N		
LM393-N	SOIC (8)	4.90 mm x 3.91 mm
LM2903-N		

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Table of Contents

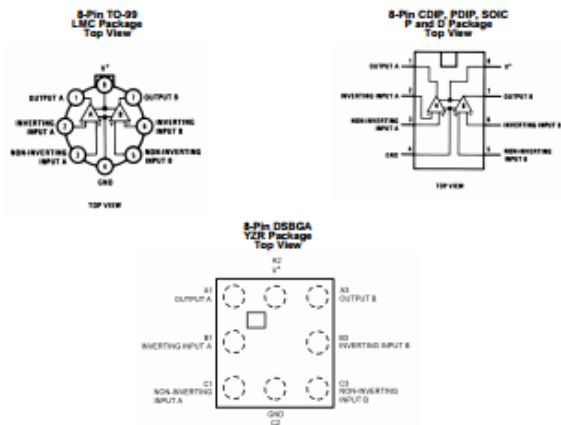
1 Features	1	8 Detailed Description	10
2 Applications	1	8.1 Overview	10
3 Description	1	8.2 Functional Block Diagram	10
4 Simplified Schematic	1	8.3 Feature Description	10
5 Revision History	2	8.4 Device Functional Modes	10
6 Pin Configuration and Functions	3	9 Application and Implementation	11
7 Specifications	4	9.1 Application Information	11
7.1 Absolute Maximum Ratings	4	9.2 Typical Applications	11
7.2 ESD Ratings	4	10 Power Supply Recommendations	18
7.3 Recommended Operating Conditions	4	11 Layout	18
7.4 Thermal Information	5	11.1 Layout Guidelines	18
7.5 Electrical Characteristics: LM193A $V^+ = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	5	11.2 Layout Example	18
7.6 Electrical Characteristics: LM193A ($V^+ = 5\text{ V}$)	5	12 Device and Documentation Support	19
7.7 Electrical Characteristics: LM2903 and LM2903 $V^+ = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	6	12.1 Related Links	19
7.8 Electrical Characteristics: LM293 and LM2903 ($V^+ = 5\text{ V}$) ⁽¹⁾	7	12.2 Trademarks	19
7.9 Typical Characteristics: LM293 and LM193A	8	12.3 Electrostatic Discharge Caution	19
7.10 Typical Characteristics: LM2903	9	12.4 Glossary	19
		13 Mechanical, Packaging, and Orderable Information	19

5 Revision History

NOTE: Page numbers for previous revisions may differ from page numbers in the current version.

Changes from Revision E (March 2013) to Revision F	Page
• Added Pin Configuration and Functions section, ESD Ratings table, Feature Description section, Device Functional Modes, Application and Implementation section, Power Supply Recommendations section, Layout section, Device and Documentation Support section, and Mechanical, Packaging, and Orderable Information section	1
Changes from Revision D (March 2013) to Revision E	Page
• Changed layout of National Data Sheet to TI format	1

6 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

NAME	PIN NO.		I/O	DESCRIPTION
	PDIP/SOIC TO-99	DSBGA		
OUTA	1	A1	O	Output, Channel A
-INA	2	B1	I	Inverting Input, Channel A
+INA	3	C1	I	Noninverting Input, Channel A
GND	4	C2	P	Ground
+INB	5	C3	I	Noninverting Input, Channel B
-INB	6	B3	I	Inverting Input, Channel B
OUTB	7	A3	O	Output, Channel B
V+	8	A2	P	Positive power supply

7 Specifications

7.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

	MIN	MAX	UNIT
Differential Input Voltage ⁽⁵⁾		36	V
Input Voltage	-0.3	36	V
Input Current ($V_{in} = 0.3$ V) ⁽⁶⁾		50	mA
Power Dissipation ⁽⁶⁾			
POP		780	mW
TO-99		660	mW
SQC		510	mW
DS8GA		568	mW
Output Short-Circuit to Ground ⁽⁷⁾		Continu- ous	
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)		260	°C
Soldering Information			
POP Package Soldering (10 seconds)		260	°C
SQC Package		215	°C
Vapor Phase (60 seconds)			
Infrared (15 seconds)		220	°C
Storage temperature, T_{stg}	-65	150	°C

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage may occur. Recommended Operating Conditions indicate conditions for which the device is intended to be functional, but specific performance is not guaranteed. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.
- (2) Refer to RETS193AX for LM193AH military specifications and to RETS193X for LM193H military specifications.
- (3) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (4) Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level. As long as the other voltage remains within the common-mode range, the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than -0.3V (or 0.3V below the magnitude of the negative power supply, if used).
- (5) This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the comparators to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3V.
- (6) For operating at high temperatures, the LM393 and LM2903 must be derated based on a 125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 170°C/W which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM193LM193ALM2903 must be derated based on a 150°C maximum junction temperature. The low base dissipation and the "ON-OFF" characteristic of the outputs keeps the chip dissipation very small ($P_{D} < 100$ mW), provided the output transistors are allowed to saturate.
- (7) Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 20 mA independent of the magnitude of V^+ .

7.2 ESD Ratings

	VALUE	UNIT
V _{ESD} Electrostatic discharge Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	±1300	V

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

7.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply Voltage (V^+) - Single Supply	2.0		36	V
Supply Voltage (V^+) - Dual Supply	±1.0		±18	V
Operating Input Voltage on (VIN pin)	0		(V^+) -1.5V	V
Operating junction temperature, T_J : LM193LM193A	-55		125	°C
Operating junction temperature, T_J : LM2903	-40		85	°C
Operating junction temperature, T_J : LM293	-25		85	°C
Operating junction temperature, T_J : LM393	0		70	°C

7.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾	LM193	UNIT
	TO-99	
	8 PINS	
$R_{\theta JA}$ Junction-to-ambient thermal resistance	170	°C/W

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, [SPRA965](#).

7.5 Electrical Characteristics: LM193A $V^+ = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

Unless otherwise stated.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM193A			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	See ⁽¹⁾		1.0	2.0	mV
Input Bias Current	$I_{BI}^{(2)}$ or $I_{BI}^{(3)}$ with Output in Linear Range, $V_{CC} = 0\text{ V}$ ⁽⁴⁾		25	100	nA
Input Offset Current	$I_{BO}^{(2)}$ or $I_{BO}^{(3)}$ $V_{CC} = 0\text{ V}$		3.0	25	nA
Input Common Mode Voltage Range	$V^+ = 30\text{ V}$ ⁽⁴⁾	0		$V^+ - 1.5\text{ V}$	V
Supply Current	$I_{S}^{(5)}$ $V^+ = 5\text{ V}$		0.4	1	mA
	$V^+ = 36\text{ V}$		1	2.5	mA
Voltage Gain	$R_L \geq 15\text{ k}\Omega$, $V^+ = 15\text{ V}$ $V_{IO} = 1\text{ V}$ to 11 V	50	200		V/mV
Large Signal Response Time	$V_{BI} = \text{TTL Logic Swing}$, $V_{BI} = 1.4\text{ V}$ $V_{BI} = 5\text{ V}$, $R_L = 5.1\text{ k}\Omega$		300		ns
Response Time	$V_{BI} = 5\text{ V}$, $R_L = 5.1\text{ k}\Omega$ ⁽⁴⁾		1.3		μs
Output Sink Current	$V_{BI}^{(6)} = 1\text{ V}$, $V_{BI}^{(6)} = 0$, $V_{CC} = 1.5\text{ V}$	6.0	16		mA
Saturation Voltage	$V_{BI}^{(6)} = 1\text{ V}$, $V_{BI}^{(6)} = 0$, $I_{BI} = 54\text{ mA}$		250	400	mV
Output Leakage Current	$V_{BI}^{(6)} = 0$, $V_{BI}^{(6)} = 1\text{ V}$, $V_{CC} = 5\text{ V}$		0.1		nA

- (1) At output switch point, $V_{CC} = 1.4\text{ V}$, $R_{BI} = 0\text{ }\Omega$ with V^+ from 5 V to 30 V ; and over the full input common-mode range (0 V to $V^+ - 1.5\text{ V}$), at 25°C .
 (2) The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading charge exists on the reference or input lines.
 (3) The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V . The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5\text{ V}$ at 25°C , but either or both inputs can go to 36 V without damage, independent of the magnitude of V^+ .
 (4) The response time specified is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive. For larger overdrive signals 300 ns can be obtained, see *LM193 and LM193A Typical Characteristics*.
 (5) $I_{S}^{(5)}$ is the supply current with the input common-mode voltage range from 0 V to $V^+ - 1.5\text{ V}$.
 (6) $V_{BI}^{(6)}$ is the input common-mode voltage range from 0 V to $V^+ - 1.5\text{ V}$.

7.6 Electrical Characteristics: LM193A ($V^+ = 5\text{ V}$)⁽¹⁾

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM193A			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	See ⁽²⁾			4.0	mV
Input Offset Current	$I_{BI}^{(3)}$ or $I_{BI}^{(4)}$ $V_{CC} = 0\text{ V}$			100	nA
Input Bias Current	$I_{BI}^{(2)}$ or $I_{BI}^{(4)}$ with Output in Linear Range, $V_{CC} = 0\text{ V}$ ⁽⁴⁾			300	nA
Input Common Mode Voltage Range	$V^+ = 30\text{ V}$ ⁽⁴⁾	0		$V^+ - 2.0\text{ V}$	V
Saturation Voltage	$V_{BI}^{(6)} = 1\text{ V}$, $V_{BI}^{(6)} = 0$, $I_{BI} = 54\text{ mA}$			700	mV
Output Leakage Current	$V_{BI}^{(6)} = 0$, $V_{BI}^{(6)} = 1\text{ V}$, $V_{CC} = 30\text{ V}$			1.0	μA
Differential Input Voltage	Keep All $V_{BI} \geq 0\text{ V}$ (or V^+ , if used). ⁽⁴⁾			36	V

- (1) These specifications are limited to -55°C to 125°C , for the LM193/ML193A. With the LM293 all temperature specifications are limited to -25°C to 85°C and the LM393 temperature specifications are limited to 0°C to 70°C . The LM293 is limited to -40°C to 85°C .
 (2) At output switch point, $V_{CC} = 1.4\text{ V}$, $R_{BI} = 0\text{ }\Omega$ with V^+ from 5 V to 30 V ; and over the full input common-mode range (0 V to $V^+ - 1.5\text{ V}$), at 25°C .
 (3) The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading charge exists on the reference or input lines.
 (4) The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V . The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5\text{ V}$ at 25°C , but either or both inputs can go to 36 V without damage, independent of the magnitude of V^+ .
 (5) Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level. As long as the other voltage remains within the common-mode range, the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than -0.3 V (or 0.3 V below the magnitude of the negative power supply, if used).

7.7 Electrical Characteristics: LMx93 and LM2903 $V^+ = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

Unless otherwise stated.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM193-N			LM293-N, LM393-N			LM2903-N			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	See (1)	1.0	5.0		1.0	5.0		2.0	7.0		mV
Input Bias Current	$I_{B1} (+)$ or $I_{B2} (-)$ with Output in Linear Range, $V_{CM} = 0\text{ V}$ (2)	25	100		25	250		25	250		nA
Input Offset Current	$I_{B1} (+) - I_{B2} (-)$, $V_{CM} = 0\text{ V}$	3.0	25		5.0	50		5.0	50		nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30\text{ V}$ (3)	0	$V^+ - 1.5$	5	0	$V^+ - 1.5$	5	0	$V^+ - 1.5$	5	V
Supply Current	$R_L = \infty$		$V^+ = 5\text{ V}$			$V^+ = 5\text{ V}$			$V^+ = 5\text{ V}$		mA
	$V^+ = 36\text{ V}$		0.4	1		0.4	1		0.4	1.0	mA
			1	2.5		1	2.5		1	2.5	mA
Voltage Gain	$R_L \geq 15\text{ k}\Omega$, $V^+ = 15\text{ V}$, $V_{OS} = 1\text{ V}$ to 11 V	50	200		50	200		25	100		V/mV
Large Signal Response Time	$V_{IN} = TTL$ Logic Swing, $V_{EES} = 1.4\text{ V}$, $V_{OL} = 5\text{ V}$, $R_L = 5.1\text{ k}\Omega$	300			300			300			ns
Response Time	$V_{IN} = 5\text{ V}$, $R_L = 5.1\text{ k}\Omega$ (4)		1.3			1.3			1.5		μs
Output Sink Current	$V_{IN} (+) = 1\text{ V}$, $V_{OL} (+) = 0$, $V_{OS} = 1.5\text{ V}$	6.0	16		6.0	16		6.0	16		mA
Saturation Voltage	$V_{IN} (+) = 1\text{ V}$, $V_{OL} (+) = 0$, $I_{OOL} = 4\text{ mA}$	250	400		250	400		250	400		mV
Output Leakage Current	$V_{IN} (+) = 0$, $V_{OL} (+) = 1\text{ V}$, $V_{OS} = 5\text{ V}$	0.1			0.1			0.1			nA

- (1) At output switch point, $V_{IN} = 1.4\text{ V}$, $R_L = 0\text{ }\Omega$ with V^+ from 5 V to 30 V ; and over the full input common-mode range (0 V to $V^+ - 1.5\text{ V}$), at 25°C .
- (2) The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading charge exists on the reference or input lines.
- (3) The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V . The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5\text{ V}$ at 25°C , but either or both inputs can go to 36 V without damage, independent of the magnitude of V^+ .
- (4) The response time specified is for a 100 mV input step with 5 mV overdrive. For larger overdrive signals 300 ns can be obtained, see LMx93 and LM2903 Typical Characteristics.



7.8 Electrical Characteristics: LMx93 and LM2903 ($V^+ = 5\text{ V}$) (1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM193-N			LM293-N, LM393-N			LM2903-N			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	See (1)	9			9			9	15		mV
Input Offset Current	$I_{B1} (+) - I_{B2} (-)$, $V_{CM} = 0\text{ V}$	100			150			50	200		nA
Input Bias Current	$I_{B1} (+)$ or $I_{B2} (-)$ with Output in Linear Range, $V_{CM} = 0\text{ V}$ (2)	300			400			200	500		nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30\text{ V}$ (3)	0	$V^+ - 2$	.0	0	$V^+ - 2$	.0	0	$V^+ - 2$	0	V
Saturation Voltage	$V_{IN} (+) = 1\text{ V}$, $V_{OL} (+) = 0$, $I_{OOL} = 4\text{ mA}$	700			700			400	700		mV
Output Leakage Current	$V_{IN} (+) = 0$, $V_{OL} (+) = 1\text{ V}$, $V_{OS} = 5\text{ V}$	1.0			1.0			1.0			μA
Differential Input Voltage	Keep All V_{IN} $\leq 0\text{ V}$ or V^+ , if Used, (4)	36			36			36			V

- (1) These specifications are limited to -55°C to $+125^\circ\text{C}$, for the LM193/LM293. With the LM293 all temperature specifications are limited to -25°C to $+85^\circ\text{C}$ and the LM2903 temperature specifications are limited to 0°C to $+70^\circ\text{C}$. The LM2903 is limited to -40°C to $+85^\circ\text{C}$.
- (2) At output switch point, $V_{IN} = 1.4\text{ V}$, $R_L = 0\text{ }\Omega$ with V^+ from 5 V to 30 V ; and over the full input common-mode range (0 V to $V^+ - 1.5\text{ V}$), at 25°C .
- (3) The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading charge exists on the reference or input lines.
- (4) The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V . The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5\text{ V}$ at 25°C , but either or both inputs can go to 36 V without damage, independent of the magnitude of V^+ .
- (5) Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level. As long as the other voltage remains within the common-mode range, the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than -0.3 V (or 0.3 V below the magnitude of the negative power supply, if used).

LAMPIRAN B

2SA1015

TOSHIBA

2SA1015

TOSHIBA Transistor Silicon PNP Epitaxial Type (PCT process)

2SA1015

Audio Frequency General Purpose Amplifier Applications
Driver Stage Amplifier Applications

- High voltage and high current: $V_{CE0} = -50$ V (min),
 $I_C = -150$ mA (max)
- Excellent h_{FE}, linearity: h_{FE} (Q) = 80 (typ.) at $V_{CE} = -6$ V, $I_C = -150$ mA
: h_{FE} (IC) = -0.1 mA/h_{FE} (IC) = -2 mA) = 0.95 (typ.)
- Low noise: NF = 1dB (typ.) (f = 1 kHz)
- Complementary to 2SC1815.

Absolute Maximum Ratings (T_a = 25°C)

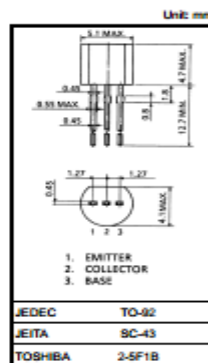
Characteristic	Symbol	Rating	Unit
Collector-base voltage	V_{CB0}	-50	V
Collector-emitter voltage	V_{CE0}	-50	V
Emitter-base voltage	V_{EB0}	-5	V
Collector current	I_C	-150	mA
Base current	I_B	-50	mA
Collector power dissipation	P_C	400	mW
Junction temperature	T_J	125	°C
Storage temperature range	T_{stg}	-55~125	°C

Note: Using continuously under heavy loads (e.g. the application of high temperature/current/voltage and the significant change in temperature, etc.) may cause this product to decrease in the reliability significantly even if the operating conditions (i.e. operating temperature/current/voltage, etc.) are within the absolute maximum ratings.
Please design the appropriate reliability upon reviewing the Toshiba Semiconductor Reliability Handbook ("Handling Precautions"/Derating Concept and Methods") and individual reliability data (i.e. reliability test report and estimated failure rate, etc.).

Electrical Characteristics (T_a = 25°C)

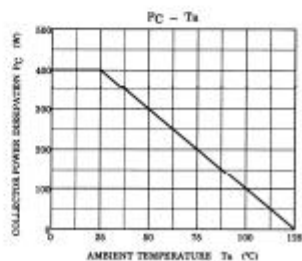
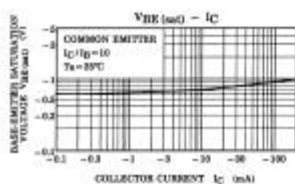
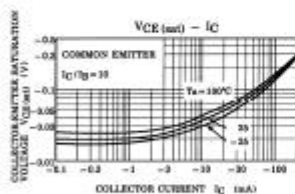
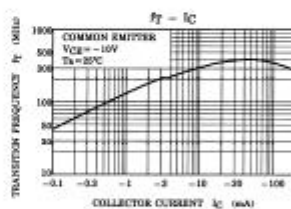
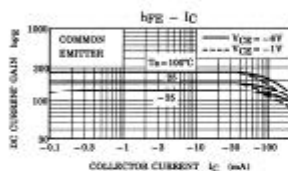
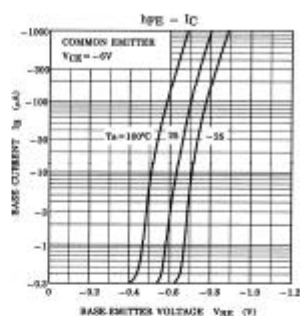
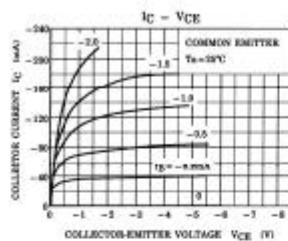
Characteristic	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
Collector cut-off current	I_{C0}	$V_{CE} = -50$ V, $I_B = 0$	—	—	-0.1	μA
Emitter cut-off current	I_{E0}	$V_{EB} = -5$ V, $I_C = 0$	—	—	-0.1	μA
DC current gain	$h_{FE} (1)$	$V_{CE} = -6$ V, $I_C = -2$ mA	70	—	400	
	$h_{FE} (2)$	$V_{CE} = -6$ V, $I_C = -150$ mA	25	80	—	
Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = -100$ mA, $I_B = -10$ mA	—	-0.1	-0.3	V
Base-emitter saturation voltage	$V_{BE(sat)}$	$I_C = -100$ mA, $I_B = -10$ mA	—	—	-1.1	V
Transition frequency	f_T	$V_{CE} = -10$ V, $I_C = -1$ mA	80	—	—	MHz
Collector output capacitance	C_{ob}	$V_{CE} = -10$ V, $I_C = 0$, $f = 1$ MHz	—	4	7	pF
Base intrinsic resistance	r_{ib}	$V_{CE} = -10$ V, $I_C = 1$ mA, $f = 30$ MHz	—	30	—	Ω
Noise figure	NF	$V_{CE} = -6$ V, $I_C = -0.1$ mA, $R_G = 10$ kΩ, $f = 1$ kHz	—	1.0	10	dB

Note: $h_{FE} (1)$ classification: Q: 70~140, Y: 120~240, GR: 200~400



JEDEC	TO-18
JEITA	SC-43
TOSHIBA	2-5F1B

Weight: 0.21 g (typ.)



LAMPIRAN C

IR2110

International
IR Rectifier

Data Sheet No. PD60147 rev.U

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

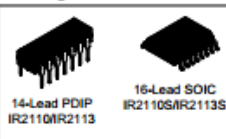
Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
- Fully operational to +500V or +600V
- Tolerant to negative transient voltage
- dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
- Separate logic supply range from 3.3V to 20V
- Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

Product Summary

V_{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{O+/-}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{on/off}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

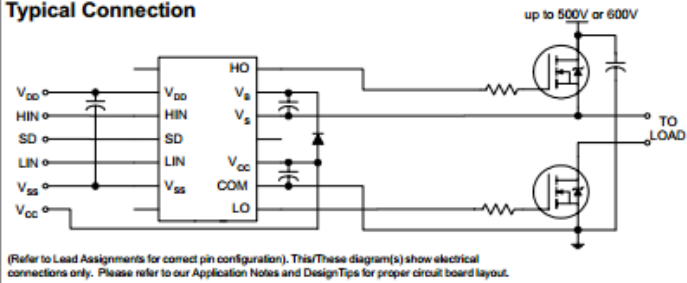
Packages



Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

Typical Connection



Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V _B	High side floating supply voltage (IR2110) (IR2113)	-0.3	525	V
V _S	High side floating supply offset voltage	V _B - 25	V _B + 0.3	
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3	
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25	
V _{LO}	Low side output voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3	
V _{DD}	Logic supply voltage	-0.3	V _{SS} + 25	
V _{SS}	Logic supply offset voltage	V _{CC} + 25	V _{CC} + 0.3	
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS} + 0.3	V _{DD} + 0.3	
dV _{ds} /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50	V/ns
P _D	Package power dissipation @ T _A ≤ +25°C (14 lead DIP) (16 lead SOIC)	—	1.6 1.25	W
R _{THJA}	Thermal resistance, junction to ambient (14 lead DIP) (16 lead SOIC)	—	75 100	
T _J	Junction temperature	—	150	°C
T _S	Storage temperature	-55	150	
T _L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300	

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V _B	High side floating supply absolute voltage	V _S + 10	V _S + 20	V
V _S	High side floating supply offset voltage (IR2110) (IR2113)	Note 1	500	
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S	V _B	
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V _{LO}	Low side output voltage	0	V _{CC}	
V _{DD}	Logic supply voltage	V _{SS} + 3	V _{SS} + 20	
V _{SS}	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS}	V _{DD}	
T _A	Ambient temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V_S of -4V to +500V. Logic state held for V_S of -4V to +V_{SS}. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V_{DD} < 5V, the minimum V_{SS} offset is limited to -V_{DD}.

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{SS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

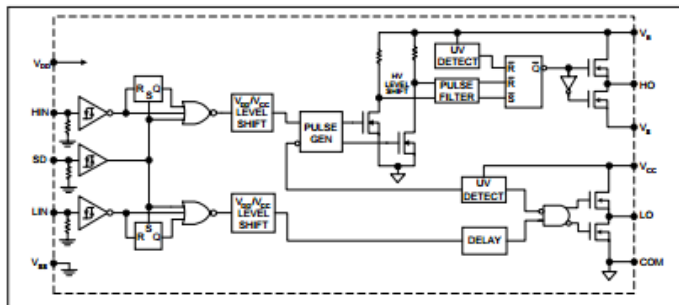
Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
t_r	Turn-on rise time	10	—	25	35		
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS (IR2110) (IR2113)	—	—	—	10		
	turn-on/off	—	—	—	20		

Static Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{SS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IH} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50	μA	$V_S = V_S = 500V/600V$
I_{OBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{OCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{OOD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	20	—	20	40		$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

Functional Block Diagram



Lead Definitions

Symbol	Description
V _{DD}	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
V _{SS}	Logic ground
V _b	High side floating supply
HO	High side gate drive output
V _s	High side floating supply return
V _{CC}	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

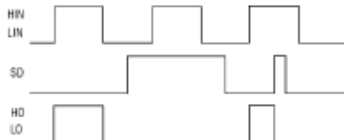


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

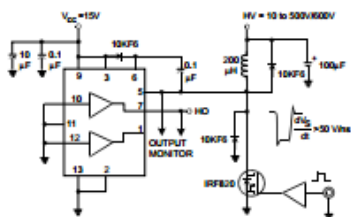


Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit

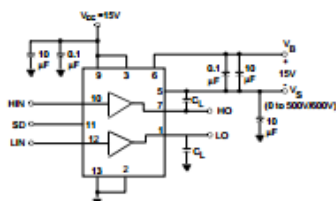


Figure 3. Switching Time Test Circuit

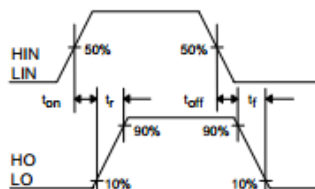


Figure 4. Switching Time Waveform Definition

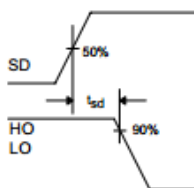


Figure 5. Shutdown Waveform Definitions

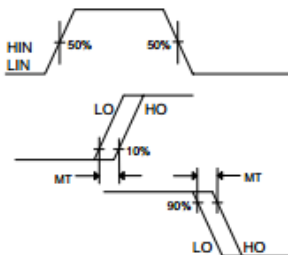


Figure 6. Delay Matching Waveform Definitions

LAMPIRAN D

MOSFET IRF460



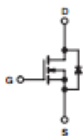
IRFP460, SiHFP460

Vishay Siliconix

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY		
V _{DS} (V)	500	
R _{DS(on)} (Ω)	V _{GS} = 10 V	0.27
Q _g (Max.) (nC)	210	
Q _{ss} (nC)	29	
Q _{gd} (nC)	110	
Configuration	Single	

TO-247



N-channel MOSFET

FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Lead (Pb)-free Available



DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distances between pins to meet the requirements of most safety specifications.

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-247
Lead (Pb)-free	IRFP460PbF
	SiHFP460-E3
SnPb	IRFP460
	SiHFP460

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS T _C = 25 °C, unless otherwise noted				
PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT	
Drain-Source Voltage	V _{DS}	500	V	
Gate-Source Voltage	V _{GS}	±20		
Continuous Drain Current	V _{GS} at 10 V	T _C = 25 °C	I _D	20
		T _C = 100 °C	I _D	13
Pulsed Drain Current ^a			I _{DS}	80
Linear Derating Factor				2.2
Single Pulse Avalanche Energy ^b	E _{AS}	960	mJ	
Repetitive Avalanche Current ^c	I _{AS}	20	A	
Repetitive Avalanche Energy ^d	E _{AR}	28	mJ	
Maximum Power Dissipation	P _D	280	W	
Peak Diode Recovery dV/dt ^e	dV/dt	3.5	V/ns	
Operating Junction and Storage Temperature Range	T _J , T _{STG}	-55 to +150	°C	
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s	300 ^o		
Mounting Torque	6-32 or M3 screw		10	lbf · in
			1.1	N · m

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- V_{DS} = 50 V, starting T_J = 25 °C, L = 4.3 mH, R_G = 25 Ω, I_{AS} = 20 A (see fig. 12).
- I_{AS} ≤ 20 A, dV/dt ≤ 160 A/μs, V_{DS} ≤ V_{GS}, T_J ≤ 150 °C.
- 1.6 mm from case.

^a Pb containing terminations are not RoHS compliant, exemptions may apply

IRFP460, SiHFP460

Vishay Siliconix



THERMAL RESISTANCE RATINGS					
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT	
Maximum Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	-	40	°C/W	
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	$R_{\theta CS}$	0.24	-		
Maximum Junction-to-Case (Drain)	$R_{\theta JC}$	-	0.45		

SPECIFICATIONS $T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted					
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX. UNIT
Static					
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	$V_{GS} = 0\text{ V}$, $I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	500	-	- V
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to 25°C , $I_D = 1\text{ mA}$	-	0.63	- $^\circ\text{C}^{-1}$
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	2.0	-	4.0 V
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$	-	-	$\pm 100\text{ nA}$
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 500\text{ V}$, $V_{GS} = 0\text{ V}$	-	-	25 μA
		$V_{DS} = 400\text{ V}$, $V_{GS} = 0\text{ V}$, $T_J = 125^\circ\text{C}$	-	-	250 μA
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}$, $I_D = 12\text{ A}^a$	-	-	0.27 Ω
Forward Transconductance	g_m	$V_{GS} = 50\text{ V}$, $I_D = 12\text{ A}^a$	13	-	- S
Dynamic					
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{DS} = 0\text{ V}$, $V_{GS} = 25\text{ V}$, $f = 1.0\text{ MHz}$, see fig. 5	-	4200	- μF
Output Capacitance	C_{oss}		-	870	- μF
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}		-	350	- μF
Total Gate Charge	Q_g	$V_{DS} = 10\text{ V}$, $I_D = 20\text{ A}$, $V_{GS} = 400\text{ V}$ see fig. 6 and 13 ^b	-	-	210 nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}		-	-	29 nC
Gate-Drain Charge	Q_{gd}		-	-	110 nC
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DS} = 250\text{ V}$, $I_D = 20\text{ A}$, $R_{\theta JA} = 4.3^\circ\text{C/W}$, $R_{\theta JC} = 13^\circ\text{C/W}$, see fig. 10 ^b	-	18	- ns
Rise Time	t_r		-	59	- ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		-	110	- ns
Fall Time	t_f		-	58	- ns
Internal Drain Inductance	L_D	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact	-	5.0	- nH
Internal Source Inductance	L_S		-	13	- nH
Drain-Source Body Diode Characteristics					
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode	-	-	20 A
Pulsed Diode Forward Current ^b	I_{SD}		-	-	80 A
Body Diode Voltage	V_{SD}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_S = 20\text{ A}$, $V_{GS} = 0\text{ V}^a$	-	-	1.8 V
Body Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_S = 20\text{ A}$, $dI/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$	-	570	860 ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q_{rr}		-	5.7	8.6 μC
Forward Turn-On Time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)			

Notes

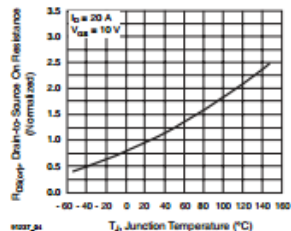
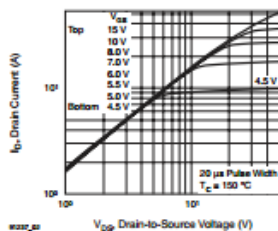
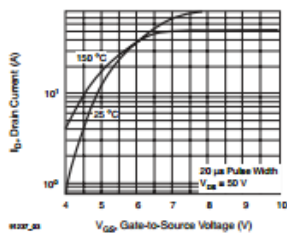
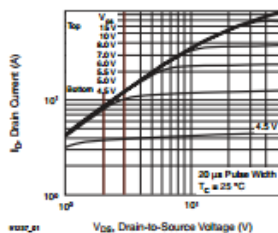
- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
b. Pulse width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.



IRFP460, SiHFP460

Vishay Siliconix

TYPICAL CHARACTERISTICS 25 °C, unless otherwise noted



Peak Diode Recovery dV/dt Test Circuit

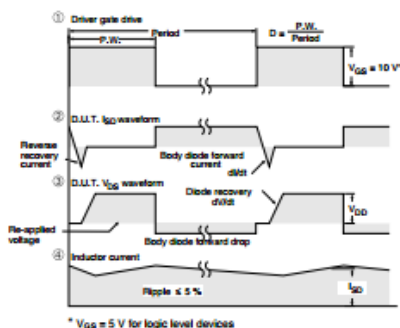
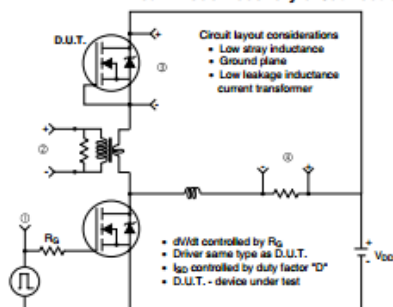


Fig. 14 - For N-Channel

Visray Silicon maintains worldwide manufacturing capability. Products may be manufactured at one of several qualified locations. Reliability data for Silicon Technology and Package Reliability represent a composite of all qualified locations. For related documents such as package tape drawings, part markings, and reliability data, see <http://www.visray.com/jpg791237>.

LAMPIRAN E

Diode 1n4148



1N4148 / 1N4448

FAST SWITCHING DIODE

[Please click here to visit our online spice models database.](#)

Features

- Fast Switching Speed
- General Purpose Rectification
- Silicon Epitaxial Planar Construction
- Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 2)

Mechanical Data

- Case: DO-35
- Case Material: Glass
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020D
- Leads: Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Terminals: Finish — Sn96.5Ag3.5. Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Marking: Type Number
- Ordering Information: See Page 2
- Weight: 0.13 grams (approximate)

Maximum Ratings @T_A = 25°C unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	1N4148	1N4448	Unit
Non-Repetitive Peak Reverse Voltage	V _{RM}	100		V
Peak Repetitive Reverse Voltage	V _{RRM}	75		V
Working Peak Reverse Voltage	V _{WRM}	53		V
DC Blocking Voltage	V _{DRM}	300	500	V
Forward Continuous Current (Note 1)	I _{FM}	150		mA
Average Rectified Output Current (Note 1)	I _O	1.0		A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current @ t = 1.0s @ t = 1.0μs	I _{FSM}	2.0		A

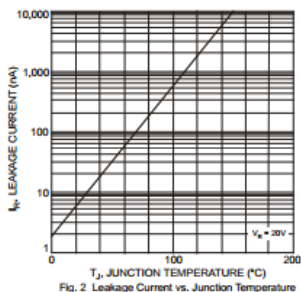
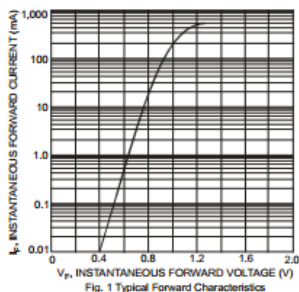
Thermal Characteristics

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Power Dissipation (Note 1)	P _D	500	mW
Derate Above 25°C		1.68	mW/°C
Thermal Resistance, Junction to Ambient Air (Note 1)	R _{JA}	300	°C/W
Operating and Storage Temperature Range	T _J , T _{STG}	-65 to +175	°C

Electrical Characteristics @T_A = 25°C unless otherwise specified

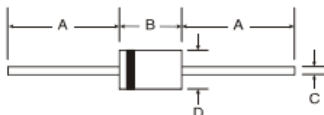
Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	Test Condition
Maximum Forward Voltage	V _{FM}	—	1.0	V	I _F = 10mA
		0.52	0.72		I _F = 5.0mA
		—	1.0		I _F = 100mA
Maximum Peak Reverse Current	I _{RM}	—	5.0	μA	V _R = 75V
		—	50	μA	V _R = 70V, T _J = 150°C
		—	30	μA	V _R = 20V, T _J = 150°C
		—	25	nA	V _R = 20V
Total Capacitance	C _T	—	4.0	pF	V _R = 0, f = 1.0MHz
Reverse Recovery Time	t _r	—	4.0	ns	I _F = 10mA to I _R = 1.0mA V _R = 6.0V, R _L = 100Ω

- Notes:
1. Valid provided that device terminals are kept at ambient temperature.
 2. EC Directive 2002/95/EC (RoHS) revision 13.2.2003. Glass and high temperature solder exemptions applied where applicable, see EU Directive Annex Notes 5 and 7.


Ordering Information (Note 3)

Part Number	Case	Packaging
1N4148-A	DO-35	10K/Ammo Pack
1N4148-T	DO-35	10K/Tape & Reel, 13-inch
1N4448-A	DO-35	10K/Ammo Pack
1N4448-T	DO-35	10K/Tape & Reel, 13-inch

Notes: 3. For packaging details, go to our website at <http://www.diodes.com/datasheets/ap02007.pdf>.

Package Outline Dimensions


Dim	DO-35	
A	Min	25.40
B	—	4.00
C	—	0.60
D	—	2.00

All Dimensions in mm

IMPORTANT NOTICE

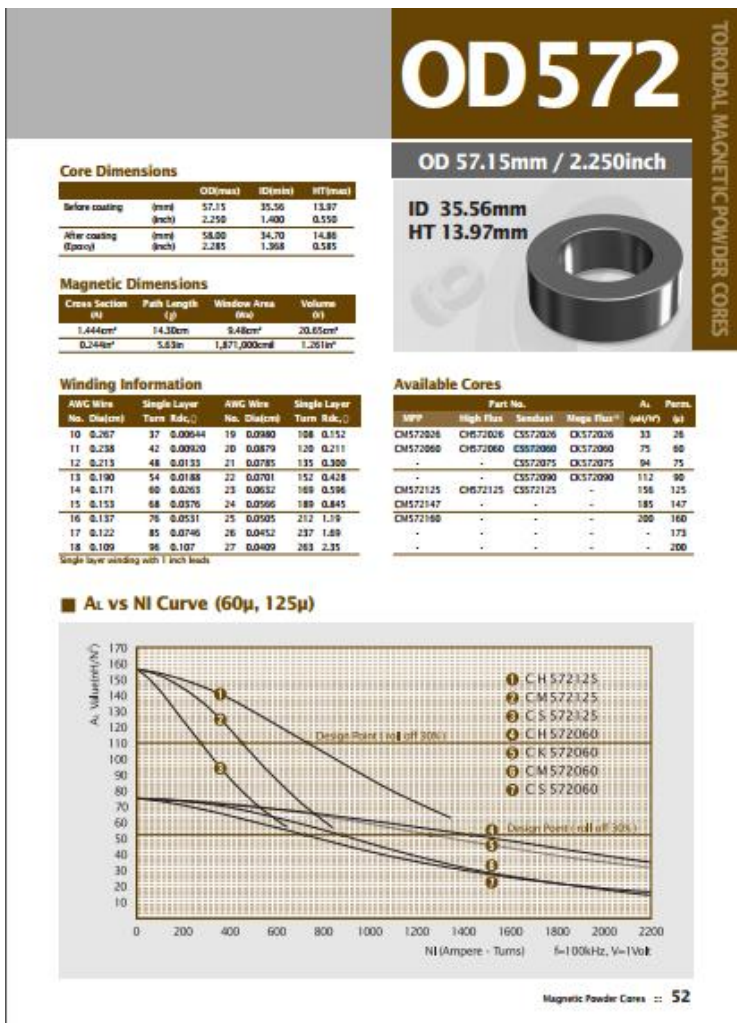
Diodes Incorporated and its subsidiaries reserve the right to make modifications, enhancements, improvements, corrections or other changes without further notice to any product herein. Diodes Incorporated does not assume any liability arising out of the application or use of any product described herein; neither does it convey any license under its patent rights, nor the rights of others. The user of products in such applications shall assume all risks of such use and will agree to hold Diodes Incorporated and all the companies whose products are represented on our website, harmless against all damages.

LIFE SUPPORT

Diodes Incorporated products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without the expressed written approval of the President of Diodes Incorporated.

LAMPIRAN F

Ferit CS572060



LAMPIRAN G

Serial communication

Data Stack size : 1024

***/

```
#include <mega128.h>
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <delay.h>
```

```
#include <stdlib.h>
```

```
int volt,freq, current, temp, enable, disable;
```

```
#ifndef RXB8
```

```
#define RXB8 1
```

```
#endif
```

```
#ifndef TXB8
```

```
#define TXB8 0
```

```
#endif
```

```
#ifndef UPE
```

```
#define UPE 2
```

```
#endif
```

```
#ifndef DOR
```

```
#define DOR 3
```

```
#endif
```

```
#ifndef FE
```

```
#define FE 4
```

```
#endif
```

```
#ifndef UDRE
```

```
#define UDRE 5
```

```
#endif
```



```

#ifndef RXC
#define RXC 7
#endif

#define CODE(ADDRESS, BIT) (ADDRESS |= (1 << BIT))
#define DATA(ADDRESS, BIT) (ADDRESS &= ~(1 << BIT))
#define CHECKSUM(ADDRESS, BIT) (!(ADDRESS & (1 << BIT)))

#define FRAMING_ERROR (1<<FE)
#define PARITY_ERROR (1<<UPE)
#define DATA_OVERRUN (1<<DOR)
#define DATA_REGISTER_EMPTY (1<<UDRE)
#define RX_COMPLETE (1<<RXC)

// USART0 Receiver buffer
#define RX_BUFFER_SIZE0 8
char rx_buffer0[RX_BUFFER_SIZE0];

#if RX_BUFFER_SIZE0 <= 256
unsigned char rx_wr_index0,rx_rd_index0,rx_counter0;
#else
unsigned int rx_wr_index0,rx_rd_index0,rx_counter0;
#endif

// This flag is set on USART0 Receiver buffer overflow
bit rx_buffer_overflow0;

// USART0 Receiver interrupt service routine
interrupt [USART0_RXC] void usart0_rx_isr(void)
{
char status,data;
status=UCSR0A;

```

```

data=UDR0;
if ((status & (FRAMING_ERROR | PARITY_ERROR |
DATA_OVERRUN))==0)
{
    rx_buffer0[rx_wr_index0++]=data;
#if RX_BUFFER_SIZE0 == 256
    // special case for receiver buffer size=256
    if (++rx_counter0 == 0) rx_buffer_overflow0=1;
#else
    if      (rx_wr_index0      ==      RX_BUFFER_SIZE0)
rx_wr_index0=0;
    if (++rx_counter0 == RX_BUFFER_SIZE0)
    {
        rx_counter0=0;
        rx_buffer_overflow0=1;
    }
#endif
}
}
}

```

```

#ifdef _DEBUG_TERMINAL_IO_
// Get a character from the USART0 Receiver buffer
#define _ALTERNATE_GETCHAR_
#pragma used+
char getchar(void)
{
    char data;
    while (rx_counter0==0);
    data=rx_buffer0[rx_rd_index0++];
#if RX_BUFFER_SIZE0 != 256
    if (rx_rd_index0 == RX_BUFFER_SIZE0) rx_rd_index0=0;
#endif
    #asm("cli")
    --rx_counter0;
    #asm("sei")
}

```

```

return data;
}
#pragma used-
#endif

// USART1 Receiver buffer
#define RX_BUFFER_SIZE1 8
char rx_buffer1[RX_BUFFER_SIZE1];

#if RX_BUFFER_SIZE1 <= 256
unsigned char rx_wr_index1,rx_rd_index1,rx_counter1;
#else
unsigned int rx_wr_index1,rx_rd_index1,rx_counter1;
#endif

// This flag is set on USART1 Receiver buffer overflow
bit rx_buffer_overflow1;

// USART1 Receiver interrupt service routine
interrupt [USART1_RXC] void usart1_rx_isr(void)
{
char status,data;
status=UCSR1A;
data=UDR1;
if ((status & (FRAMING_ERROR | PARITY_ERROR |
DATA_OVERRUN))==0)
{
rx_buffer1[rx_wr_index1++]=data;
#if RX_BUFFER_SIZE1 == 256
// special case for receiver buffer size=256
if (++rx_counter1 == 0) rx_buffer_overflow1=1;
#else
if (rx_wr_index1 == RX_BUFFER_SIZE1)
rx_wr_index1=0;
if (++rx_counter1 == RX_BUFFER_SIZE1)

```

```

    {
        rx_counter1=0;
        rx_buffer_overflow1=1;
    }
#endif
}
}

// Get a character from the USART1 Receiver buffer
#pragma used+
char getchar1(void)
{
    char data;
    while (rx_counter1==0);
    data=rx_buffer1[rx_rd_index1++];
    #if RX_BUFFER_SIZE1 != 256
    if (rx_rd_index1 == RX_BUFFER_SIZE1) rx_rd_index1=0;
    #endif
    #asm("cli")
    --rx_counter1;
    #asm("sei")
    return data;
}
#pragma used-
// Write a character to the USART1 Transmitter
#pragma used+
void putchar1(char c)
{
    while ((UCSR1A & DATA_REGISTER_EMPTY)==0);
    UDR1=c;
}
#pragma used-

// Standard Input/Output functions
#include <stdio.h>

```

```

#define ADC_VREF_TYPE 0x20

// Read the 8 most significant bits
// of the AD conversion result
unsigned char read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
    // Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
    delay_us(10);
    // Start the AD conversion
    ADCSRA|=0x40;
    // Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCH;
}

// SPI interrupt service routine
interrupt [SPI_STC] void spi_isr(void)
{
    unsigned char data;
    data=SPDR;
    // Place your code here

}

// Declare your global variables here

void main(void)
{
    // Declare your local variables here

    // Input/Output Ports initialization
    // Port A initialization

```

```
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In  
Func1=In Func0=In  
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T  
State1=T State0=T  
PORTA=0x00;  
DDRA=0x00;
```

```
// Port B initialization  
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In  
Func2=Out Func1=Out Func0=Out  
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=0  
State1=0 State0=0  
PORTB=0x00;  
DDRB=0x07;
```

```
// Port C initialization  
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In  
Func1=In Func0=In  
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T  
State1=T State0=T  
PORTC=0x00;  
DDRC=0x00;
```

```
// Port D initialization  
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In  
Func1=In Func0=In  
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T  
State1=T State0=T  
PORTD=0x00;  
DDRD=0x00;
```

```
// Port E initialization  
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In  
Func1=In Func0=In
```

```
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T  
State1=T State0=T  
PORTE=0x00;  
DDRE=0x00;
```

```
// Port F initialization  
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In  
Func1=In Func0=In  
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T  
State1=T State0=T  
PORTF=0x00;  
DDRF=0x00;
```

```
// Port G initialization  
// Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In  
// State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T  
PORTG=0x00;  
DDRG=0x00;
```

```
// Timer/Counter 0 initialization  
// Clock source: System Clock  
// Clock value: Timer 0 Stopped  
// Mode: Normal top=0xFF  
// OC0 output: Disconnected  
ASSR=0x00;  
TCCR0=0x00;  
TCNT0=0x00;  
OCR0=0x00;
```

```
// Timer/Counter 1 initialization  
// Clock source: System Clock  
// Clock value: Timer1 Stopped  
// Mode: Normal top=0xFFFF  
// OC1A output: Discon.  
// OC1B output: Discon.
```

```
// OC1C output: Discon.  
// Noise Canceler: Off  
// Input Capture on Falling Edge  
// Timer1 Overflow Interrupt: Off  
// Input Capture Interrupt: Off  
// Compare A Match Interrupt: Off  
// Compare B Match Interrupt: Off  
// Compare C Match Interrupt: Off  
TCCR1A=0x00;  
TCCR1B=0x00;  
TCNT1H=0x00;  
TCNT1L=0x00;  
ICR1H=0x00;  
ICR1L=0x00;  
OCR1AH=0x00;  
OCR1AL=0x00;  
OCR1BH=0x00;  
OCR1BL=0x00;  
OCR1CH=0x00;  
OCR1CL=0x00;  
  
// Timer/Counter 2 initialization  
// Clock source: System Clock  
// Clock value: Timer2 Stopped  
// Mode: Normal top=0xFF  
// OC2 output: Disconnected  
TCCR2=0x00;  
TCNT2=0x00;  
OCR2=0x00;  
  
// Timer/Counter 3 initialization  
// Clock source: System Clock  
// Clock value: Timer3 Stopped  
// Mode: Normal top=0xFFFF  
// OC3A output: Discon.
```



```
// OC3B output: Discon.  
// OC3C output: Discon.  
// Noise Canceler: Off  
// Input Capture on Falling Edge  
// Timer3 Overflow Interrupt: Off  
// Input Capture Interrupt: Off  
// Compare A Match Interrupt: Off  
// Compare B Match Interrupt: Off  
// Compare C Match Interrupt: Off  
TCCR3A=0x00;  
TCCR3B=0x00;  
TCNT3H=0x00;  
TCNT3L=0x00;  
ICR3H=0x00;  
ICR3L=0x00;  
OCR3AH=0x00;  
OCR3AL=0x00;  
OCR3BH=0x00;  
OCR3BL=0x00;  
OCR3CH=0x00;  
OCR3CL=0x00;  
  
// External Interrupt(s) initialization  
// INT0: Off  
// INT1: Off  
// INT2: Off  
// INT3: Off  
// INT4: Off  
// INT5: Off  
// INT6: Off  
// INT7: Off  
EICRA=0x00;  
EICRB=0x00;  
EIMSK=0x00;
```

```
// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;

ETIMSK=0x00;

// USART0 initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// USART0 Receiver: On
// USART0 Transmitter: On
// USART0 Mode: Asynchronous
// USART0 Baud Rate: 2400
UCSR0A=0x00;
UCSR0B=0x98;
UCSR0C=0x06;
UBRR0H=0x00;
UBRR0L=0xCF;

// USART1 initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// USART1 Receiver: On
// USART1 Transmitter: On
// USART1 Mode: Asynchronous
// USART1 Baud Rate: 2400
UCSR1A=0x00;
UCSR1B=0x98;
UCSR1C=0x06;
UBRR1H=0x00;
UBRR1L=0xCF;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;
```

```

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 1000.000 kHz
// ADC Voltage Reference: AREF pin
// Only the 8 most significant bits of
// the AD conversion result are used
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x83;

// SPI initialization
// SPI Type: Master
// SPI Clock Rate: 2000.000 kHz
// SPI Clock Phase: Cycle Start
// SPI Clock Polarity: Low
// SPI Data Order: MSB First
SPCR=0xD0;
SPSR=0x00;

// Clear the SPI interrupt flag
#asm
    in  r30,spsr
    in  r30,spdr
#endasm

// TWI initialization
// TWI disabled
TWCR=0x00;

// Global enable interrupts
#asm("sei")

while (1)
    if(rx_buffer_overflow0==1)
    {
        if ((rx_buffer0[0]==0x41)&&(rx_buffer0[1]==0x00))
        {

```

```

    rx_buffer0[2]= printf ("%d", volt);
    rx_buffer0[3]= printf ("%d", current);
    rx_buffer0[4]= printf ("%d", temp);
    rx_buffer0[5]= printf ("%d", freq);

}
else if ((rx_buffer0[0]==0x81) && (rx_buffer0[1]==1))
{
    if ((rx_buffer0[0]==0x81) && (rx_buffer0[1]==0x55))
    {
        printf ("%c\n", enable);
    }
    else if
((rx_buffer0[0]==0x81)&&(rx_buffer0[1]==0xAA))
    {
        printf ("%c\n", disable);
    }

}

```

LAMPIRAN H

Tabel Tegangan tanpa beban

second	volt
-0.05	24
-0.04996	8
-0.04992	4
-0.04988	4
-0.04984	8
-0.0498	12
-0.04976	-4
-0.04972	-16
-0.04968	-28
-0.04964	-28
-0.0496	-16
-0.04956	-20
-0.04952	-32
-0.04948	-48
-0.04944	-56
-0.0494	-44
-0.04936	-40
-0.04932	-44
-0.04928	-60
-0.04924	-68
-0.0492	-60
-0.04916	-56
-0.04912	-52
-0.04908	-60

-0.04904	-64
-0.049	-60
-0.04896	-60
-0.04892	-64
-0.04888	-72
-0.04884	-84
-0.0488	-84
-0.04876	-88
-0.04872	-96
-0.04868	-100
-0.04864	-108
-0.0486	-112
-0.04856	-116
-0.04852	-116
-0.04848	-116
-0.04844	-120
-0.0484	-120
-0.04836	-124
-0.04832	-128
-0.04828	-140
-0.04824	-144
-0.0482	-148
-0.04816	-156
-0.04812	-160
-0.04808	-164

-0.04804	-172
-0.048	-176
-0.04796	-180
-0.04792	-180
-0.04788	-180
-0.04784	-184
-0.0478	-184
-0.04776	-184
-0.04772	-188
-0.04768	-192
-0.04764	-200
-0.0476	-204
-0.04756	-208
-0.04752	-212
-0.04748	-220
-0.04744	-220
-0.0474	-220
-0.04736	-236
-0.04732	-224
-0.04728	-224
-0.04724	-228
-0.0472	-228
-0.04716	-232
-0.04712	-232
-0.04708	-232
-0.04704	-232
-0.047	-236
-0.04696	-236
-0.04692	-240

-0.04688	-244
-0.04684	-248
-0.0468	-248
-0.04676	-252
-0.04672	-252
-0.04668	-252
-0.04664	-248
-0.0466	-248
-0.04656	-248
-0.04652	-248
-0.04648	-248
-0.04644	-248
-0.0464	-248
-0.04636	-252
-0.04632	-252
-0.04628	-252
-0.04624	-252
-0.0462	-248
-0.04616	-256
-0.04612	-256
-0.04608	-256
-0.04604	-252
-0.046	-252
-0.04596	-252
-0.04592	-252
-0.04588	-252
-0.04584	-252
-0.0458	-252
-0.04576	-252

-0.04572	-252
-0.04568	-248
-0.04564	-252
-0.0456	-252
-0.04556	-248
-0.04552	-252
-0.04548	-248
-0.04544	-252
-0.0454	-252
-0.04536	-256
-0.04532	-256
-0.04528	-260
-0.04524	-260
-0.0452	-264
-0.04516	-268
-0.04512	-268
-0.04508	-272
-0.04504	-276
-0.045	-276
-0.04496	-276
-0.04492	-280
-0.04488	-280
-0.04484	-280
-0.0448	-284
-0.04476	-284
-0.04472	-288
-0.04468	-288
-0.04464	-292
-0.0446	-292

-0.04456	-292
-0.04452	-292
-0.04448	-292
-0.04444	-292
-0.0444	-292
-0.04436	-292
-0.04432	-292
-0.04428	-292
-0.04424	-292
-0.0442	-292
-0.04416	-292
-0.04412	-292
-0.04408	-292
-0.04404	-292
-0.044	-292
-0.04396	-292
-0.04392	-292
-0.04388	-288
-0.04384	-288
-0.0438	-288
-0.04376	-284
-0.04372	-288
-0.04368	-288
-0.04364	-288
-0.0436	-284
-0.04356	-288
-0.04352	-288
-0.04348	-288
-0.04344	-288

-0.0434	-288
-0.04336	-288
-0.04332	-284
-0.04328	-284
-0.04324	-280
-0.0432	-280
-0.04316	-276
-0.04312	-276
-0.04308	-276
-0.04304	-272
-0.043	-272
-0.04296	-272
-0.04292	-276
-0.04288	-272
-0.04284	-276
-0.0428	-272
-0.04276	-272
-0.04272	-276
-0.04268	-272
-0.04264	-272
-0.0426	-268
-0.04256	-264
-0.04252	-264
-0.04248	-256
-0.04244	-256
-0.0424	-252
-0.04236	-248
-0.04232	-252
-0.04228	-244

-0.04224	-244
-0.0422	-248
-0.04216	-244
-0.04212	-248
-0.04208	-248
-0.04204	-244
-0.042	-248
-0.04196	-240
-0.04192	-240
-0.04188	-240
-0.04184	-228
-0.0418	-232
-0.04176	-220
-0.04172	-212
-0.04168	-216
-0.04164	-204
-0.0416	-204
-0.04156	-200
-0.04152	-196
-0.04148	-196
-0.04144	-200
-0.0414	-200
-0.04136	-192
-0.04132	-192
-0.04128	-192
-0.04124	-188
-0.0412	-180
-0.04116	-180
-0.04112	-172

-0.04108	-168
-0.04104	-156
-0.041	-152
-0.04096	-148
-0.04092	-140
-0.04088	-128
-0.04084	-128
-0.0408	-136
-0.04076	-124
-0.04072	-112
-0.04068	-108
-0.04064	-112
-0.0406	-120
-0.04056	-108
-0.04052	-96
-0.04048	-84
-0.04044	-84
-0.0404	-84
-0.04036	-76
-0.04032	-68
-0.04028	-60
-0.04024	-52
-0.0402	-48
-0.04016	-40
-0.04012	-40
-0.04008	-32
-0.04004	-28
-0.04	-32
-0.03996	-12

-0.03992	-4
-0.03988	8
-0.03984	8
-0.0398	12
-0.03976	16
-0.03972	20
-0.03968	24
-0.03964	36
-0.0396	40
-0.03956	52
-0.03952	48
-0.03948	52
-0.03944	52
-0.0394	52
-0.03936	56
-0.03932	64
-0.03928	72
-0.03924	72
-0.0392	72
-0.03916	72
-0.03912	76
-0.03908	76
-0.03904	76
-0.039	76
-0.03896	76
-0.03892	72
-0.03888	76
-0.03884	84
-0.0388	92

-0.03876	96
-0.03872	100
-0.03868	108
-0.03864	116
-0.0386	116
-0.03856	124
-0.03852	128
-0.03848	132
-0.03844	140
-0.0384	140
-0.03836	144
-0.03832	148
-0.03828	144
-0.03824	148
-0.0382	148
-0.03816	156
-0.03812	160
-0.03808	168
-0.03804	172
-0.038	176
-0.03796	184
-0.03792	192
-0.03788	196
-0.03784	200
-0.0378	204
-0.03776	204
-0.03772	204
-0.03768	204
-0.03764	208

-0.0376	208
-0.03756	212
-0.03752	212
-0.03748	220
-0.03744	220
-0.0374	228
-0.03736	232
-0.03732	236
-0.03728	236
-0.03724	244
-0.0372	248
-0.03716	244
-0.03712	248
-0.03708	244
-0.03704	244
-0.037	248
-0.03696	248
-0.03692	248
-0.03688	248
-0.03684	252
-0.0368	252
-0.03676	252
-0.03672	256
-0.03668	260
-0.03664	256
-0.0366	260
-0.03656	260
-0.03652	260
-0.03648	260

-0.03644	260
-0.0364	260
-0.03636	260
-0.03632	260
-0.03628	256
-0.03624	256
-0.0362	256
-0.03616	256
-0.03612	260
-0.03608	260
-0.03604	260
-0.036	264
-0.03596	256
-0.03592	260
-0.03588	260
-0.03584	256
-0.0358	260
-0.03576	256
-0.03572	256
-0.03568	260
-0.03564	256
-0.0356	256
-0.03556	256
-0.03552	256
-0.03548	256
-0.03544	260
-0.0354	260
-0.03536	264
-0.03532	264

-0.03528	268
-0.03524	272
-0.0352	272
-0.03516	276
-0.03512	280
-0.03508	280
-0.03504	280
-0.035	284
-0.03496	284
-0.03492	288
-0.03488	288
-0.03484	292
-0.0348	292
-0.03476	292
-0.03472	292
-0.03468	296
-0.03464	300
-0.0346	296
-0.03456	300
-0.03452	300
-0.03448	300
-0.03444	300
-0.0344	300
-0.03436	300
-0.03432	300
-0.03428	300
-0.03424	300
-0.0342	296
-0.03416	296

-0.03412	296
-0.03408	300
-0.03404	300
-0.034	300
-0.03396	300
-0.03392	296
-0.03388	300
-0.03384	300
-0.0338	296
-0.03376	296
-0.03372	296
-0.03368	296
-0.03364	292
-0.0336	292
-0.03356	292
-0.03352	292
-0.03348	288
-0.03344	292
-0.0334	292
-0.03336	292
-0.03332	292
-0.03328	292
-0.03324	292
-0.0332	292
-0.03316	288
-0.03312	288
-0.03308	288
-0.03304	284
-0.033	284

-0.03296	280
-0.03292	280
-0.03288	280
-0.03284	276
-0.0328	276
-0.03276	272
-0.03272	276
-0.03268	272
-0.03264	280
-0.0326	276
-0.03256	272
-0.03252	280
-0.03248	272
-0.03244	272
-0.0324	268
-0.03236	264
-0.03232	264
-0.03228	256
-0.03224	252
-0.0322	252
-0.03216	244
-0.03212	248
-0.03208	240
-0.03204	240
-0.032	244
-0.03196	240
-0.03192	244
-0.03188	240
-0.03184	236

-0.0318	244
-0.03176	236
-0.03172	228
-0.03168	236
-0.03164	220
-0.0316	220
-0.03156	220
-0.03152	208
-0.03148	204
-0.03144	196
-0.0314	196
-0.03136	184
-0.03132	184
-0.03128	184
-0.03124	184
-0.0312	184
-0.03116	184
-0.03112	172
-0.03108	176
-0.03104	176
-0.031	168
-0.03096	156
-0.03092	156
-0.03088	156
-0.03084	140
-0.0308	128
-0.03076	124
-0.03072	128
-0.03068	128

-0.03064	108
-0.0306	100
-0.03056	96
-0.03052	104
-0.03048	100
-0.03044	84
-0.0304	80
-0.03036	80
-0.03032	80
-0.03028	68
-0.03024	60
-0.0302	52
-0.03016	48
-0.03012	52
-0.03008	56
-0.03004	44
-0.03	28

Tabel Tegangan dengan beban

second	volt
-0.05	32
-0.04996	24
-0.04992	24
-0.04988	16
-0.04984	16
-0.0498	16
-0.04976	8
-0.04972	8
-0.04968	8
-0.04964	0
-0.0496	0
-0.04956	-8
-0.04952	-16
-0.04948	-16
-0.04944	-16
-0.0494	-16
-0.04936	-24
-0.04932	-32
-0.04928	-40
-0.04924	-48
-0.0492	-48
-0.04916	-56
-0.04912	-56
-0.04908	-56
-0.04904	-56

-0.049	-56
-0.04896	-64
-0.04892	-64
-0.04888	-72
-0.04884	-72
-0.0488	-72
-0.04876	-88
-0.04872	-88
-0.04868	-96
-0.04864	-104
-0.0486	-104
-0.04856	-112
-0.04852	-112
-0.04848	-120
-0.04844	-112
-0.0484	-112
-0.04836	-120
-0.04832	-120
-0.04828	-120
-0.04824	-136
-0.0482	-136
-0.04816	-136
-0.04812	-136
-0.04808	-136
-0.04804	-144
-0.048	-152
-0.04796	-152
-0.04792	-152
-0.04788	-160

-0.04784	-152
-0.0478	-160
-0.04776	-160
-0.04772	-160
-0.04768	-160
-0.04764	-160
-0.0476	-160
-0.04756	-160
-0.04752	-168
-0.04748	-168
-0.04744	-176
-0.0474	-168
-0.04736	-176
-0.04732	-176
-0.04728	-176
-0.04724	-176
-0.0472	-176
-0.04716	-168
-0.04712	-168
-0.04708	-168
-0.04704	-168
-0.047	-168
-0.04696	-168
-0.04692	-176
-0.04688	-176
-0.04684	-192
-0.0468	-200
-0.04676	-232
-0.04672	-208

-0.04668	-208
-0.04664	-216
-0.0466	-216
-0.04656	-216
-0.04652	-216
-0.04648	-216
-0.04644	-224
-0.0464	-224
-0.04636	-224
-0.04632	-232
-0.04628	-224
-0.04624	-232
-0.0462	-240
-0.04616	-240
-0.04612	-248
-0.04608	-256
-0.04604	-256
-0.046	-256
-0.04596	-256
-0.04592	-256
-0.04588	-264
-0.04584	-256
-0.0458	-256
-0.04576	-256
-0.04572	-264
-0.04568	-256
-0.04564	-256
-0.0456	-256
-0.04556	-256

-0.04552	-264
-0.04548	-264
-0.04544	-264
-0.0454	-264
-0.04536	-264
-0.04532	-264
-0.04528	-272
-0.04524	-272
-0.0452	-264
-0.04516	-272
-0.04512	-272
-0.04508	-272
-0.04504	-264
-0.045	-264
-0.04496	-264
-0.04492	-264
-0.04488	-264
-0.04484	-264
-0.0448	-264
-0.04476	-264
-0.04472	-264
-0.04468	-264
-0.04464	-256
-0.0446	-248
-0.04456	-256
-0.04452	-256
-0.04448	-256
-0.04444	-248
-0.0444	-248

-0.04436	-248
-0.04432	-248
-0.04428	-240
-0.04424	-240
-0.0442	-240
-0.04416	-240
-0.04412	-232
-0.04408	-232
-0.04404	-224
-0.044	-232
-0.04396	-224
-0.04392	-224
-0.04388	-224
-0.04384	-216
-0.0438	-224
-0.04376	-216
-0.04372	-216
-0.04368	-208
-0.04364	-208
-0.0436	-208
-0.04356	-208
-0.04352	-216
-0.04348	-216
-0.04344	-216
-0.0434	-224
-0.04336	-216
-0.04332	-216
-0.04328	-216
-0.04324	-224

-0.0432	-224
-0.04316	-216
-0.04312	-216
-0.04308	-224
-0.04304	-216
-0.043	-224
-0.04296	-216
-0.04292	-216
-0.04288	-216
-0.04284	-216
-0.0428	-216
-0.04276	-216
-0.04272	-216
-0.04268	-216
-0.04264	-216
-0.0426	-216
-0.04256	-216
-0.04252	-216
-0.04248	-216
-0.04244	-208
-0.0424	-208
-0.04236	-208
-0.04232	-208
-0.04228	-200
-0.04224	-192
-0.0422	-192
-0.04216	-184
-0.04212	-192
-0.04208	-184

-0.04204	-184
-0.042	-192
-0.04196	-176
-0.04192	-184
-0.04188	-176
-0.04184	-176
-0.0418	-176
-0.04176	-160
-0.04172	-160
-0.04168	-152
-0.04164	-152
-0.0416	-144
-0.04156	-136
-0.04152	-136
-0.04148	-136
-0.04144	-128
-0.0414	-128
-0.04136	-120
-0.04132	-112
-0.04128	-120
-0.04124	-112
-0.0412	-112
-0.04116	-104
-0.04112	-104
-0.04108	-104
-0.04104	-96
-0.041	-88
-0.04096	-80
-0.04092	-80

-0.04088	-72
-0.04084	-64
-0.0408	-64
-0.04076	-56
-0.04072	-48
-0.04068	-48
-0.04064	-48
-0.0406	-48
-0.04056	-48
-0.04052	-40
-0.04048	-32
-0.04044	-32
-0.0404	-24
-0.04036	-24
-0.04032	-24
-0.04028	-24
-0.04024	-8
-0.0402	-8
-0.04016	-8
-0.04012	-8
-0.04008	0
-0.04004	0
-0.04	0
-0.03996	8
-0.03992	24
-0.03988	24
-0.03984	24
-0.0398	24
-0.03976	24

-0.03972	24
-0.03968	32
-0.03964	32
-0.0396	48
-0.03956	56
-0.03952	56
-0.03948	48
-0.03944	48
-0.0394	48
-0.03936	72
-0.03932	72
-0.03928	72
-0.03924	72
-0.0392	72
-0.03916	72
-0.03912	88
-0.03908	88
-0.03904	96
-0.039	104
-0.03896	104
-0.03892	104
-0.03888	104
-0.03884	112
-0.0388	112
-0.03876	120
-0.03872	128
-0.03868	128
-0.03864	128
-0.0386	136

-0.03856	136
-0.03852	144
-0.03848	144
-0.03844	152
-0.0384	152
-0.03836	160
-0.03832	160
-0.03828	160
-0.03824	168
-0.0382	160
-0.03816	160
-0.03812	160
-0.03808	168
-0.03804	168
-0.038	168
-0.03796	176
-0.03792	176
-0.03788	184
-0.03784	192
-0.0378	192
-0.03776	192
-0.03772	200
-0.03768	200
-0.03764	208
-0.0376	208
-0.03756	208
-0.03752	208
-0.03748	200
-0.03744	200

-0.0374	208
-0.03736	200
-0.03732	200
-0.03728	200
-0.03724	208
-0.0372	200
-0.03716	208
-0.03712	200
-0.03708	200
-0.03704	208
-0.037	208
-0.03696	208
-0.03692	208
-0.03688	216
-0.03684	216
-0.0368	224
-0.03676	224
-0.03672	224
-0.03668	232
-0.03664	240
-0.0366	240
-0.03656	248
-0.03652	248
-0.03648	248
-0.03644	256
-0.0364	256
-0.03636	264
-0.03632	256
-0.03628	264

-0.03624	272
-0.0362	272
-0.03616	280
-0.03612	280
-0.03608	280
-0.03604	280
-0.036	280
-0.03596	288
-0.03592	288
-0.03588	288
-0.03584	288
-0.0358	288
-0.03576	296
-0.03572	288
-0.03568	296
-0.03564	296
-0.0356	288
-0.03556	296
-0.03552	296
-0.03548	296
-0.03544	296
-0.0354	296
-0.03536	296
-0.03532	296
-0.03528	304
-0.03524	296
-0.0352	280
-0.03516	296
-0.03512	304

-0.03508	296
-0.03504	296
-0.035	296
-0.03496	296
-0.03492	296
-0.03488	296
-0.03484	296
-0.0348	296
-0.03476	296
-0.03472	288
-0.03468	288
-0.03464	288
-0.0346	288
-0.03456	288
-0.03452	280
-0.03448	288
-0.03444	288
-0.0344	288
-0.03436	280
-0.03432	280
-0.03428	280
-0.03424	272
-0.0342	280
-0.03416	272
-0.03412	264
-0.03408	272
-0.03404	264
-0.034	256
-0.03396	256

-0.03392	256
-0.03388	256
-0.03384	256
-0.0338	248
-0.03376	248
-0.03372	248
-0.03368	240
-0.03364	240
-0.0336	240
-0.03356	240
-0.03352	256
-0.03348	256
-0.03344	248
-0.0334	248
-0.03336	240
-0.03332	248
-0.03328	240
-0.03324	248
-0.0332	248
-0.03316	248
-0.03312	248
-0.03308	248
-0.03304	256
-0.033	256
-0.03296	256
-0.03292	256
-0.03288	248
-0.03284	256
-0.0328	256

-0.03276	248
-0.03272	248
-0.03268	240
-0.03264	240
-0.0326	240
-0.03256	248
-0.03252	248
-0.03248	240
-0.03244	240
-0.0324	240
-0.03236	240
-0.03232	232
-0.03228	232
-0.03224	232
-0.0322	232
-0.03216	224
-0.03212	224
-0.03208	224
-0.03204	216
-0.032	208
-0.03196	208
-0.03192	208
-0.03188	200
-0.03184	200
-0.0318	200
-0.03176	192
-0.03172	200
-0.03168	192
-0.03164	192

-0.0316	192
-0.03156	184
-0.03152	176
-0.03148	168
-0.03144	160
-0.0314	168
-0.03136	152
-0.03132	144
-0.03128	144
-0.03124	144
-0.0312	144
-0.03116	136
-0.03112	136
-0.03108	136
-0.03104	128
-0.031	120
-0.03096	120
-0.03092	120
-0.03088	112
-0.03084	112
-0.0308	104
-0.03076	96
-0.03072	96
-0.03068	88
-0.03064	88
-0.0306	80
-0.03056	72
-0.03052	72
-0.03048	72

-0.03044	72
-0.0304	64
-0.03036	64
-0.03032	56
-0.03028	48
-0.03024	48
-0.0302	48
-0.03016	40
-0.03012	48
-0.03008	40
-0.03004	40
-0.03	24

Tabel Arus

second	Ampere
-0.05	-0.04
-0.04996	-0.08
-0.04992	-0.68
-0.04988	0.04
-0.04984	0
-0.0498	0.04
-0.04976	-0.12
-0.04972	-0.2
-0.04968	0.2
-0.04964	-0.04
-0.0496	-1
-0.04956	-0.04
-0.04952	-0.4
-0.04948	-0.08
-0.04944	-0.08
-0.0494	-0.08
-0.04936	0
-0.04932	-0.04
-0.04928	-0.04
-0.04924	0
-0.0492	-0.2
-0.04916	-0.28
-0.04912	-0.32
-0.04908	0.52
-0.04904	0.44
-0.049	-0.04

-0.04896	-0.04
-0.04892	-0.12
-0.04888	-0.24
-0.04884	-0.4
-0.0488	-0.16
-0.04876	-0.16
-0.04872	-0.2
-0.04868	-0.12
-0.04864	-0.08
-0.0486	-0.4
-0.04856	-0.44
-0.04852	-0.52
-0.04848	0.16
-0.04844	0.6
-0.0484	0
-0.04836	-0.04
-0.04832	0
-0.04828	-0.04
-0.04824	-0.16
-0.0482	-0.2
-0.04816	-0.4
-0.04812	-0.24
-0.04808	-0.32
-0.04804	-0.32
-0.048	-0.28
-0.04796	-0.24
-0.04792	-0.28
-0.04788	-0.4
-0.04784	-0.16

-0.0478	-0.16
-0.04776	-0.08
-0.04772	-0.04
-0.04768	0.04
-0.04764	-0.08
-0.0476	-0.08
-0.04756	-0.16
-0.04752	-0.16
-0.04748	-0.52
-0.04744	-0.4
-0.0474	-0.48
-0.04736	-0.52
-0.04732	-0.52
-0.04728	0.28
-0.04724	-0.32
-0.0472	-0.24
-0.04716	-0.24
-0.04712	-0.16
-0.04708	-0.16
-0.04704	-0.16
-0.047	-0.2
-0.04696	0
-0.04692	0.08
-0.04688	-0.24
-0.04684	-0.32
-0.0468	-0.52
-0.04676	-0.4
-0.04672	-0.4
-0.04668	0.32

-0.04664	-0.48
-0.0466	-0.44
-0.04656	-0.4
-0.04652	-0.32
-0.04648	-0.28
-0.04644	-0.32
-0.0464	-0.28
-0.04636	-0.2
-0.04632	-0.28
-0.04628	-0.2
-0.04624	0
-0.0462	0.04
-0.04616	-0.32
-0.04612	-0.6
-0.04608	-1.32
-0.04604	-0.44
-0.046	-0.48
-0.04596	-0.48
-0.04592	-0.52
-0.04588	-0.48
-0.04584	-0.44
-0.0458	-0.44
-0.04576	-0.32
-0.04572	-0.28
-0.04568	-0.16
-0.04564	-0.16
-0.0456	-0.24
-0.04556	-0.56
-0.04552	-0.76

-0.04548	-1.24
-0.04544	-1.76
-0.0454	-0.04
-0.04536	-0.48
-0.04532	-0.48
-0.04528	-0.44
-0.04524	-0.44
-0.0452	-0.4
-0.04516	-0.44
-0.04512	-0.44
-0.04508	-0.52
-0.04504	-0.56
-0.045	-0.56
-0.04496	-0.68
-0.04492	-0.8
-0.04488	-0.92
-0.04484	-1.04
-0.0448	-1.12
-0.04476	-1.28
-0.04472	-0.52
-0.04468	-0.44
-0.04464	-0.48
-0.0446	-0.44
-0.04456	-0.44
-0.04452	-0.44
-0.04448	-0.44
-0.04444	-0.4
-0.0444	-0.4
-0.04436	-0.36

-0.04432	-0.44
-0.04428	-0.48
-0.04424	-0.36
-0.0442	-0.52
-0.04416	-0.52
-0.04412	-0.76
-0.04408	-0.56
-0.04404	0.4
-0.044	-0.48
-0.04396	-0.48
-0.04392	-0.48
-0.04388	-0.44
-0.04384	-0.44
-0.0438	-0.4
-0.04376	-0.32
-0.04372	-0.36
-0.04368	-0.32
-0.04364	-0.16
-0.0436	-0.2
-0.04356	0.04
-0.04352	0.08
-0.04348	0.08
-0.04344	0.32
-0.0434	0.4
-0.04336	-0.52
-0.04332	-0.44
-0.04328	-0.4
-0.04324	-0.48
-0.0432	-0.44

-0.04316	-0.4
-0.04312	-0.36
-0.04308	-0.28
-0.04304	-0.28
-0.043	-0.24
-0.04296	-0.16
-0.04292	-0.16
-0.04288	-0.12
-0.04284	0.12
-0.0428	0.12
-0.04276	0.24
-0.04272	0.36
-0.04268	-0.68
-0.04264	-0.72
-0.0426	-0.8
-0.04256	-0.84
-0.04252	-0.04
-0.04248	-0.44
-0.04244	-0.44
-0.0424	-0.36
-0.04236	-0.16
-0.04232	-0.32
-0.04228	-0.08
-0.04224	0.08
-0.0422	0.08
-0.04216	0.04
-0.04212	0.12
-0.04208	0.32
-0.04204	0.28

-0.042	-0.44
-0.04196	-0.32
-0.04192	-0.24
-0.04188	-0.64
-0.04184	-0.76
-0.0418	-0.04
-0.04176	-0.04
-0.04172	0.52
-0.04168	-0.04
-0.04164	-0.12
-0.0416	-0.04
-0.04156	-0.08
-0.04152	0.2
-0.04148	0.2
-0.04144	0.24
-0.0414	0.36
-0.04136	0.56
-0.04132	-0.2
-0.04128	-0.32
-0.04124	-0.32
-0.0412	-0.32
-0.04116	-0.2
-0.04112	-0.2
-0.04108	-0.2
-0.04104	-0.12
-0.041	-0.16
-0.04096	-0.24
-0.04092	-0.44
-0.04088	0.44

-0.04084	0.2
-0.0408	0.12
-0.04076	0.28
-0.04072	0.48
-0.04068	0.56
-0.04064	-0.16
-0.0406	-0.16
-0.04056	-0.08
-0.04052	-0.04
-0.04048	-0.16
-0.04044	-0.16
-0.0404	0.08
-0.04036	0.08
-0.04032	0.12
-0.04028	-0.2
-0.04024	-0.16
-0.0402	0.16
-0.04016	0.24
-0.04012	0.6
-0.04008	0.8
-0.04004	1.2
-0.04	1.36
-0.03996	-0.08
-0.03992	-0.08
-0.03988	0
-0.03984	0
-0.0398	0.04
-0.03976	-0.04
-0.03972	-0.08

-0.03968	0.04
-0.03964	0
-0.0396	-0.24
-0.03956	-0.36
-0.03952	-0.48
-0.03948	0.16
-0.03944	0.12
-0.0394	-1.2
-0.03936	-0.48
-0.03932	-0.68
-0.03928	0.2
-0.03924	0.2
-0.0392	0.2
-0.03916	0.08
-0.03912	0.04
-0.03908	0.28
-0.03904	0.36
-0.039	-0.08
-0.03896	-0.16
-0.03892	-0.16
-0.03888	0.08
-0.03884	-0.08
-0.0388	-0.04
-0.03876	-0.12
-0.03872	-0.24
-0.03868	-0.44
-0.03864	-0.68
-0.0386	0.4
-0.03856	0.16

-0.03852	0.16
-0.03848	0.36
-0.03844	0.36
-0.0384	0.04
-0.03836	-0.04
-0.03832	0
-0.03828	0.48
-0.03824	0.2
-0.0382	0.24
-0.03816	0.16
-0.03812	0.08
-0.03808	0
-0.03804	-0.16
-0.038	-0.44
-0.03796	-0.68
-0.03792	0.44
-0.03788	0.32
-0.03784	0.32
-0.0378	0.4
-0.03776	0.28
-0.03772	0.24
-0.03768	-0.16
-0.03764	0.32
-0.0376	0.36
-0.03756	0.28
-0.03752	0.36
-0.03748	0.32
-0.03744	0.2
-0.0374	0.04

-0.03736	-0.04
-0.03732	-0.36
-0.03728	-0.52
-0.03724	0.56
-0.0372	0.32
-0.03716	0
-0.03712	0.04
-0.03708	0.2
-0.03704	0.32
-0.037	0.32
-0.03696	0.4
-0.03692	0.4
-0.03688	0.4
-0.03684	0.28
-0.0368	0.24
-0.03676	0.28
-0.03672	0.2
-0.03668	0.28
-0.03664	-0.04
-0.0366	-0.32
-0.03656	0.2
-0.03652	-0.04
-0.03648	-0.2
-0.03644	0.44
-0.0364	0.4
-0.03636	0.48
-0.03632	0.48
-0.03628	0.48
-0.03624	0.6

-0.0362	0.6
-0.03616	0.48
-0.03612	0.4
-0.03608	0.28
-0.03604	0.12
-0.036	-0.16
-0.03596	0.08
-0.03592	-0.04
-0.03588	1.32
-0.03584	0.44
-0.0358	0.48
-0.03576	0.48
-0.03572	0.56
-0.03568	0.56
-0.03564	0.6
-0.0356	0.6
-0.03556	0.52
-0.03552	0.44
-0.03548	0.4
-0.03544	0.16
-0.0354	0.08
-0.03536	-0.16
-0.03532	-0.28
-0.03528	-0.2
-0.03524	-0.16
-0.0352	-0.36
-0.03516	0.56
-0.03512	0.52
-0.03508	0.56

-0.03504	0.52
-0.035	0.48
-0.03496	0.48
-0.03492	0.44
-0.03488	0.4
-0.03484	0.32
-0.0348	0.28
-0.03476	0.24
-0.03472	0.16
-0.03468	0
-0.03464	-0.04
-0.0346	-0.04
-0.03456	0.04
-0.03452	-0.16
-0.03448	0.52
-0.03444	0.52
-0.0344	0.52
-0.03436	0.48
-0.03432	0.48
-0.03428	0.48
-0.03424	0.52
-0.0342	0.48
-0.03416	0.52
-0.03412	0.48
-0.03408	0.36
-0.03404	0.48
-0.034	0.4
-0.03396	0.44
-0.03392	0.28

-0.03388	0.28
-0.03384	1.36
-0.0338	0.36
-0.03376	0.4
-0.03372	0.4
-0.03368	0.4
-0.03364	0.48
-0.0336	0.48
-0.03356	0.6
-0.03352	0.52
-0.03348	0.6
-0.03344	0.64
-0.0334	0.6
-0.03336	0.52
-0.03332	0.44
-0.03328	0.08
-0.03324	-0.16
-0.0332	-0.52
-0.03316	0.56
-0.03312	0.04
-0.03308	0.84
-0.03304	0.36
-0.033	0.44
-0.03296	0.44
-0.03292	0.48
-0.03288	0.52
-0.03284	0.52
-0.0328	0.6
-0.03276	0.6

-0.03272	0.64
-0.03268	0.6
-0.03264	0.4
-0.0326	0.32
-0.03256	0.04
-0.03252	-0.32
-0.03248	1.12
-0.03244	0.56
-0.0324	0.6
-0.03236	0.28
-0.03232	0.4
-0.03228	-0.08
-0.03224	0.48
-0.0322	0.48
-0.03216	0.44
-0.03212	0.52
-0.03208	0.52
-0.03204	0.56
-0.032	0.48
-0.03196	0.52
-0.03192	0.4
-0.03188	0.08
-0.03184	-0.32
-0.0318	0.96
-0.03176	0.4
-0.03172	0.44
-0.03168	0.28
-0.03164	0.28
-0.0316	0.16

-0.03156	0.08
-0.03152	0.04
-0.03148	0.96
-0.03144	0.28
-0.0314	0.4
-0.03136	0.44
-0.03132	0.48
-0.03128	0.36
-0.03124	0.32
-0.0312	0.08
-0.03116	-0.24
-0.03112	0.92
-0.03108	0.32
-0.03104	0.28
-0.031	0.28
-0.03096	0.16
-0.03092	0.16
-0.03088	0.36
-0.03084	0.4
-0.0308	0
-0.03076	-0.04
-0.03072	-0.12
-0.03068	0.72
-0.03064	0.92
-0.0306	-0.72
-0.03056	0.16
-0.03052	0.04
-0.03048	-0.28
-0.03044	0.68

-0.0304	0.08
-0.03036	0.12
-0.03032	0.16
-0.03028	0.04
-0.03024	0.04
-0.0302	0.12
-0.03016	0.16
-0.03012	0.16
-0.03008	0.32
-0.03004	0.4
-0.03	0.44

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama Denny Alfani dilahirkan di Jombang pada tanggal 21 Mei 1996. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara dari orang tua Bapak Agus Salim dan Ibu Solicha. Penulis menempuh pendidikan formal di MI Bustanul Ulum Jombang, MTsN Sumobito, dan SMAN Kesamben. Kemudian penulis melanjutkan ke jenjang yang lebih tinggi yaitu di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, tepatnya di Departemen Teknik Instrumentasi Fakultas Vokasi

di tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 10 51 15 000 00 066.

Di Departemen Teknik Instrumentasi ini penulis aktif di beberapa organisasi kemahasiswaan seperti di Mahkamah Mahasiswa ITS sebagai periode 2016/2017 dan di Dewan Perwakilan Angkatan Teknik Instrumentasi (HIMATEKINS) FV ITS sebagai Ketua periode 2017/2018. Pada laporan ini, penulis telah melaksanakan Tugas Akhir Program Studi DIII Teknologi Instrumentasi Departemen Teknik Instrumentasi FV ITS.

Selesaiannya Tugas Akhir ini diajukan penulis untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Ahli Madya di Departemen Teknik Instrumentasi Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Denny.alfani@gmail.com
Be.net/Dennyalfancf0f
Twitter.com/@denny_alfani
Instagram.com/Denny Alfani